

---

# Bachelorarbeit

Aus dem Prüfungsfach

Luftrecht, Luftverkehrspolitik und -wirtschaft

Analyse der Implementierungs- und Umsetzungsempfehlungen des  
ICAO Advanced Surface Movement Guidance and Control System  
(A-SMGCS) Handbuchs

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hüttig  
Dipl.-Ing. Martin Otzik

vorgelegt an der  
Technischen Universität Berlin  
Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr

von:

Freiherr von Castell, J. Martin  
Tegeler Weg 25  
10589 Berlin

Matrikelnummer: 321075  
Abgabetermin: 13.01.2012

---

---

---

## DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen, welche mir durch ihr Zutun sowie ihre Unterstützung dabei geholfen haben diese Bachelorarbeit anzufertigen, bedanken.

Ausdrücklich danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hüttig, Herrn Prof. Dr.-Ing. Oliver Lehmann sowie Herrn Dipl.-Ing. Martin Otzik von der Technischen Universität Berlin für die kompetente wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit sowie dafür, dass sie bei Fragen immer ein offenes Ohr hatten und jederzeit auch außerhalb der gewohnten Sprechstunden Zeit fanden, sich etwaiger Probleme anzunehmen.

Bei Herrn Prof. Dr. iur. Elmar Giemulla möchte ich mich für die gute, für mich sehr lehrreiche bisherige Zusammenarbeit sowie seine Erlaubnis, die Erkenntnisse meiner in seinem Auftrag durchgeführten Recherchetätigkeiten in diese Arbeit einfließen lassen zu dürfen, bedanken.

Frau Ass. iur. Juliane Holtz danke ich für die bisherige kollegiale Zusammenarbeit am Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr, bei welcher ich ergänzend zum Studium tiefergehende Einblicke ins Luft-, Transport-, Datenschutz-, Schadensersatz- und Verfassungsrecht sowie die Abläufe firmenübergreifender Luftsicherheitsprojekte erlangen konnte.

Ebenso gilt mein Dank allen Kollegen des Fachgebiets Flugführung und Luftverkehr, welche mir bei fachlichen Fragen immer gerne und kompetent weiterzuhelfen wussten, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Björn Appel, Herrn Dipl.-Ing. Ferdinand Behrend, Herrn Dr.-Ing. Christian Berth und Herrn Dipl.-Ing. Bastian Göbel.

Vielmals danken möchte ich Herrn Detlef Aßmann und Frau Ulrike von Barga (beide Deutscher Wetterdienst), Herrn Boris Breug sowie Herrn Martin Fritzsche (beide Flughafen Berlin-Schönefeld GmbH), Herrn Peter Kanzler und Herrn Peter Mäke (beide Flughafen München GmbH), Frau Elina Pohl (Fraport AG), Herrn Achim Scharf (Flughafen Nürnberg GmbH), Herrn Gerd Waldmann (Flughafen Hamburg GmbH) sowie Herrn A. Woisch (Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH) dafür, dass sie mir freundlicherweise Rollverkehrs- und Wetterdaten zur Verfügung gestellt haben und mir bei Fachfragen zur Seite standen.

Herzlich danken möchte ich vor allem meiner Familie, insbesondere meinen Eltern und meinen Geschwistern für ihre jahrelange liebevolle Unterstützung und Zuneigung in allen Lebenslagen, sowie meinem Großvater, der mein Interesse für Luftfahrt bereits in frühester Kindheit geweckt hat und es bis heute stetig fördert. Ihnen widme ich diese Arbeit.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>DANKSAGUNG.....</b>	<b>I</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>II</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>V</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSSAR .....</b>	<b>IX</b>
<b>EXTRAKT .....</b>	<b>XII</b>
<b>1 NOTWENDIGKEIT DER ENTWICKLUNG DES ROLLVERKEHRSMANAGEMENT-SYSTEMS A-SMGCS .....</b>	<b>1</b>
1.1 Entwicklung der Verkehrsleistung im Luftverkehr .....	1
1.2 Notwendigkeit zur Kapazitätserweiterung mittels A-SMGCS .....	2
1.2.1 Defizite bei der Durchführung des Rollverkehrsmanagements ohne A-SMGCS .....	4
1.2.2 Ziele bei der Entwicklung von A-SMGCS .....	6
1.3 Aktueller Forschungsstand .....	8
<b>2 WISSENSCHAFTLICHE VORGEHENSWEISE .....</b>	<b>10</b>
<b>3 FUNKTIONALITÄT VON A-SMGCS .....</b>	<b>12</b>
3.1 A-SMGCS Funktion I: Surveillance .....	13
3.2 A-SMGCS Funktion II: Control .....	14
3.3 A-SMGCS Funktion III: Routing .....	15
3.4 A-SMGCS Funktion IV: Guidance .....	16
<b>4 A-SMGCS-KOMPONENTEN UND DEREN FUNKTIONSWEISE .....</b>	<b>18</b>
4.1 Prinzip der Laufzeitmessung .....	18
4.2 Bestandteile von A-SMGCS und deren Funktionsweise .....	19
4.2.1 Passive Funkortung mittels SMR: Primärradar .....	20
4.2.2 Aktive Funkortung mittels SSR: Sekundärradar .....	21
4.2.3 Die SSR-Betriebsmodi Mode A/C sowie Mode S im Rollverkehrsmanagement .....	23
4.2.4 Funkortung via ADS-B .....	25
4.3 Sensor Data Fusion .....	27



4.3.1	Redundanz .....	28
4.3.2	Rollverkehrslagedarstellung .....	29

## **5 EMPFOHLENE IMPLEMENTIERUNGSKRITERIEN GEMÄß ICAO Doc 9830 ... 32**

5.1	Appendix A – Typisierung .....	32
5.1.1	Kriterium 1: Sichtbedingungen .....	32
5.1.2	Kriterium 2: Rollverkehrsaufkommen .....	34
5.1.3	Kriterium 3: Flughafenlayout .....	34
5.1.4	Typisierungstupel .....	35
5.2	Appendix B – Typen-Level-Matrix .....	36
5.3	Appendix C – Komponentenentwicklung gemäß Komponentenmatrix .....	39
5.3.1	Komponentenentwicklung der Typen T-1 bis T-4.....	39
5.3.2	Komponentenentwicklung der Typen T-5 bis T-7.....	39
5.3.3	Komponentenentwicklung der Typen T-8 bis T-20.....	40
5.3.4	Komponentenentwicklung der Typen T-21 bis T-27.....	41
5.3.5	Komponentenentwicklung der Typen T-28 bis T-36.....	41
5.3.6	Allgemein abgeleitete Aussagen bzgl. der Komponentenentwicklung .....	42

## **6 BEISPIELHAFTE ANWENDUNG DER IMPLEMENTIERUNGSKRITERIEN GEMÄß ICAO Doc 9830 ..... 43**

6.1	Flughafen Frankfurt/Main (EDDF).....	43
6.1.1	Anwendung der Typisierung.....	44
6.1.2	Anwendung der Typen-Level-Matrix .....	45
6.1.3	Anwendung der Komponentenmatrix.....	45
6.2	Flughafen Hamburg (EDDH).....	46
6.2.1	Anwendung der Typisierung.....	46
6.2.2	Anwendung der Typen-Level-Matrix .....	47
6.2.3	Anwendung der Komponentenmatrix.....	47
6.3	Flughafen Nürnberg (EDDN).....	48
6.3.1	Anwendung der Typisierung.....	48
6.3.2	Anwendung der Typen-Level-Matrix .....	49
6.3.3	Anwendung der Komponentenmatrix.....	49
6.4	Flughafen Paderborn/Lippstadt (EDLP) .....	50
6.4.1	Anwendung der Typisierung.....	50
6.4.2	Anwendung der Typen-Level-Matrix .....	51
6.4.3	Anwendung der Komponentenmatrix.....	52

---

<b>7 SINNHAFITGKEIT DER IMPLEMENTIERUNGSEMPFEHLUNGEN DES ICAO Doc 9830</b>	<b>53</b>
7.1 Analyse der Implementierungsempfehlungen gemäß App. A	53
7.1.1 Kriterium 1: Sichtbedingungen	53
7.1.2 Kriterium 2: Rollverkehrsaufkommen	55
7.1.3 Kriterium 3: Flughafenlayout	56
7.1.4 Typisierungstupel	56
7.2 Analyse der Implementierungsempfehlungen gemäß App. B und C	57
7.3 Bewertung der Implementierungsempfehlungen	57
7.4 Vorschlag eines verbesserten Typisierungskonzepts für App. A	58
7.4.1 Kriterium 1: Sichtbedingungen	59
7.4.2 Kriterium 2: Rollverkehrsaufkommen	59
7.4.3 Kriterium 3: Flughafenlayout	60
7.4.4 Typisierungstupel	61
<b>8 FAZIT</b>	<b>62</b>
<b>9 AUSBLICK</b>	<b>63</b>
QUELLENVERZEICHNIS	65
ANHANG 1: TYPEN-LEVEL-MATRIX	69
ANHANG 2: KOMPONENTENMATRIX	71
ANHANG 3: FRAGEBOGEN EDDF	72
ANHANG 4: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDDF	73
ANHANG 5: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDDH	74
ANHANG 6: FRAGEBOGEN EDDN	75
ANHANG 7: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDDN	76
ANHANG 8: FRAGEBOGEN EDLP	77
ANHANG 9: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDLP	78
ANHANG 10: SICHTDATEN DES FLUGHAFENS EDDH	79

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklung der weltweiten Luftverkehrsleistung bis 2029 .....	1
Abbildung 2: Vier Grundfunktionen des Rollverkehrsmanagements.....	4
Abbildung 3: Vergleich einer Darstellung des Rollfeldes via SMR (l) sowie via A-SMGCS (r) auf dem Rollfeld des Airport Hamburg .....	7
Abbildung 4: ATM-Datalink-Testmodul des DLR .....	9
Abbildung 5: Funktionen unter A-SMGCS .....	12
Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Rollführung für Lotsen u. Fahrzeugführer .....	17
Abbildung 7: Ausbreitung und Reflexion von Wellen (Laufzeitmessung) .....	18
Abbildung 8: SMR-Parabolantenne der Firma Easat Antennas Ltd .....	21
Abbildung 9: Balkenantenne einer SSR-Anlage der Firma Easat Antennas Ltd .....	22
Abbildung 10: Funktionsprinzip der aktiven Funkortung via SSR .....	23
Abbildung 11: M-LAT-Antennen, wie sie künftig am BER eingesetzt werden.....	26
Abbildung 12: ADS-B Komponenten für den Einsatz in Kraftfahrzeugen .....	27
Abbildung 13: Sensor Data Fusion unter A-SMGCS .....	28
Abbildung 14: TACSYS Rollverkehrslagedarstellung am Flughafen Frankfurt/Main .....	31

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Sensor Data Fusion – benötigte externe Daten .....	30
Tabelle 2: Flughafentypisierung gemäß ICAO Doc 9830 App. A.....	35
Tabelle 3: Vorschlag für eine differenziertere Typisierungsmatrix gemäß App. A .....	61

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>A-SMGCS</b>	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
<b>ADS-B</b>	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
<b>App.</b>	Appendix
<b>ATC</b>	Air Traffic Control
<b>ATCO</b>	Air Traffic Controller
<b>AVOL</b>	Aerodrome Visibility Operational Level
<b>BBI</b>	Flughafen Berlin Brandenburg International (Projektname)
<b>BER</b>	Flughafen Berlin Brandenburg „Willy Brandt“ (IATA-Code)
<b>DFS</b>	Deutsche Flugsicherung
<b>DWD</b>	Deutscher Wetterdienst
<b>EDDF</b>	Flughafen Frankfurt/Main (ICAO-Code)
<b>EDDH</b>	Flughafen Hamburg (ICAO-Code)
<b>EDDN</b>	Flughafen Nürnberg (ICAO-Code)
<b>EDLP</b>	Flughafen Paderborn/Lippstadt (ICAO-Code)
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>FAB</b>	Functional Airspace Block
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization
<b>IFR</b>	Instrument Flight Rules
<b>ISA</b>	ICAO Standard Atmosphere
<b>M-LAT</b>	Multilateration
<b>MSL</b>	Mean Sea Level
<b>RADAR</b>	Radio Detection and Ranging (auch: Radar)
<b>RPK</b>	Revenue Passenger Kilometer(s)
<b>RTK</b>	Revenue Ton Kilometer(s)
<b>RVR</b>	Runway Visual Range
<b>RWY</b>	Runway
<b>SDF</b>	Sensor Data Fusion
<b>SES</b>	Single European Sky
<b>SID</b>	Standard Instrument Departure
<b>SMGCS</b>	Surface Movement Guidance and Control System
<b>SMR</b>	Surface Movement Radar

<b>SSR</b>	Secondary Surveillance Radar
<b>STAR</b>	Standard Instrument Arrival Routes
<b>TACSYS</b>	Taxi and Control System
<b>TOW</b>	Take-Off Weight
<b>TWY</b>	Taxiway

## GLOSSAR

<b>A-SMGCS</b>	Ein System, welches die Rollstreckenplanung, Führung und Überwachung von Luftfahrzeugen und Fahrzeugen unter allen innerhalb des <i>Aerodrome Visibility Operational Level</i> (AVOL) festgelegten Wetterbedingungen bei Einhaltung der vorgegebenen Rollverkehrsraten gewährleistet.
<b>Aerodrome Visibility Operational Level (AVOL)</b>	Die minimalen Sichtverhältnisse, bei oder oberhalb derer die vorgegebenen Rollverkehrsraten eingehalten werden können.
<b>Air Traffic Management (ATM)</b>	Laut Klußmann/Malik /26/ dient das Air Traffic Management dem Ziel, „den Flugverkehr im Luftraum so zu organisieren, dass er möglichst sicher und wirtschaftlich durchgeführt werden kann.“
<b>Airport Surface Detection Equipment (ASDE)</b>	Synonym für den von der ICAO genutzten Begriff <i>Surface Movement Radar</i> .
<b>Apron</b>	Vorfeld, welches vorrangig zum Rangieren und Abstellung von Luftfahrzeugen, aber u.a. auch zu Versorgungs- und Wartungszwecken von Kraftfahrzeugen berollt wird.
<b>Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B)</b>	System zur radar- und satellitengestützten Rollverkehrs- und Flugführung, welches auf dem Prinzip der Positionseigenbestimmung mittels Satellitennavigation basiert.
<b>Bewegungsfläche</b>	Gesamtheit aller berollbaren Flächen eines Flughafens oder Flugplatzes, bestehend aus <i>Runways</i> , <i>Taxiways</i> und <i>Apron</i> .
<b>CAT</b>	Sichtbedingungskategorisierung für Instrumentenanflüge
<b>Fahrzeug</b>	Im Rahmen dieser Arbeit als Fahrzeuge bezeichnete Transportmittel können sowohl Luft- wie auch Kraftfahrzeuge sein.
<b>Functional Airspace Block (FAB)</b>	Funktionale Luftraumblöcke, welche zwecks Einführung des <i>Single European Sky</i> (SES) unter Missachtung nationaler Luftraumgrenzen durch ein gemeinsames <i>Air Traffic Management</i> (ATM) kontrolliert werden.
<b>Global Positioning System (GPS)</b>	Das Global Positioning System ist ein von den USA betriebenes globales Satellitennavigationssystem und dient der exakten Ortsbestimmung von Objekten, welche mit einer GPS-Empfangseinheit ausgestattet sind. Ein anderes, ähnlich konzipiertes System soll unter europäischer Federführung bis 2013 unter dem Namen ‚Galileo‘ eingeführt werden.
<b>ICAO Standard Atmosphere (ISA)</b>	Von der ICAO definierte Normatmosphäre, welche die Änderung der Größen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Luftdichte mit zunehmender Höhenlage in der Atmosphäre standardisiert wiedergibt. Hierbei wird auf Meereshöhe (MSL) ein Normdruck von 1013,25 hPa sowie eine Normtemperatur von 15°C angenommen. In diesem Fall spricht man auch von ISA+15. Für Triebwerksbelastungstests bspw. ist auch die Verwendung der ISA+30 gebräuchlich; dies entspricht einer Standardtemperatur auf MSL von 30°C.

<b>Incursion</b>	Unberechtigtes Eindringen von Fahrzeugen oder Hindernissen in Teilbereiche eines <i>Rollfeldes</i> , bspw. Kreuzen von Rollwegen ohne Freigabe.
<b>Labelling</b>	Automatisierte identifizierende Zuordnung der Kennung von Luftfahrzeugen im Rahmen der <i>Luftverkehrsführung</i> .
<b>Luftverkehr</b>	Der Luftverkehr umfasst laut Hüttig /15/ „die Gesamtheit aller Vorgänge, die der Ortsveränderung von Personen, Fracht und Post auf dem Luftweg dienen.“
<b>Multilateration (M-LAT)</b>	Multilateration dient der Ortsbestimmung von beschleunigten und unbeschleunigten Objekten im Raum. Es kommt das Prinzip der Laufzeitmessung zum Tragen. <sup>1</sup>
<b>Rollfeld</b>	Gesamtheit aller berollbaren Flächen eines Flughafens oder Flugplatzes, bestehend aus <i>Runways</i> und <i>Taxiways</i> . Hiervon getrennt betrachtet wird das <i>Apron</i> .
<b>Rollverkehrsführung</b>	Gemäß Glaser /25/ bezeichnet Rollverkehrsführung „die Gesamtheit aller technischen Einrichtungen und Verfahren für die teil- oder vollautomatisierte, rechnergestützte Erfassung, Kontrolle, Ablaufplanung und Führung des Rollverkehrs [...], um einen sicheren und zügigen Verkehrsfluss auf der Bewegungsfläche eines Flughafens zu gewährleisten.“
<b>Runway (RWY)</b>	Start- und/oder Landebahn eines Flughafens oder Flugplatzes.
<b>Runway Visual Range (RVR)</b>	Gemäß Klußmann/Malik /26/ ist die „Runway Visual Range [...] ein Maß für die Sichtweite, die ein Pilot bei der Landung in horizontaler Richtung auf die Landebahnstrecke hat. Sie hängt sowohl von den Witterungsbedingungen am Flugplatz (z.B. Regen oder Nebel), als auch von der Befeuerung der Landebahn ab.“
<b>Secondary Surveillance Radar (SSR)</b>	Sekundärradar, welches zur aktiven Funkortung von Objekten der Aussendung von Radarwellen durch mitgeführte Transponder bedarf.
<b>Sicherheit</b>	Gemäß Duden /24/ ist Sicherheit der „Zustand des Geschützeins vor Gefahr oder Schaden“ sowie das „höchstmögliche Freisein von Gefährdungen“.
<b>Single European Sky (SES)</b>	Programm zur Neustrukturierung des europäischen Luftraums, welches durch die Europäische Union vorangetrieben wird, um national kontrollierte Lufträume zwecks Kosten- und Kapazitätsoptimierung zu sog. <i>Functional Airspace Blocks</i> (FAB) zusammenzulegen.
<b>Squawk</b>	Der Squawk ist eine vierstellige Oktalzahl, welche der Identifikation eines Luftfahrzeuges dient und über dessen Transponder ausgesendet wird.
<b>Surface Movement Radar (SMR)</b>	Von der ICAO genutzter Begriff für Bodenradaranlagen zur Überwachung des Rollverkehrs auf Verkehrsflughäfen mittels passiver Funkortung.

---

<sup>1</sup> s. Kapitel 4.1



<b>Taxiway (TWY)</b>	Rollbahnen, welche das <i>Apron</i> mit den <i>Runways</i> verbinden. Auch Rollweg genannt.
<b>Verkehrssystem</b>	Ein Verkehrssystem enthält laut Nuhn/Hesse /14/ „alle strukturellen Komponenten, die zur Ortsveränderung von Personen oder Gütern erforderlich sind. Es umfasst somit die Verkehrsinfrastruktur zusammen mit den notwendigen Transportmitteln. Die Aktivitäten, die den Verkehr verursachen, sind ebenso Teil des Verkehrssystems wie die Einrichtungen, die den Transportprozess organisieren. Auch die transportierten Personen und Güter gehören zum Verkehrssystem.“

## EXTRAKT

Die seit Jahren stetig um ca. 5% wachsende Zahl der Flugbewegungen wirkt sich zunehmend in Form von Kapazitätsengpässen auf das Gesamtverkehrssystem ‚Luftverkehr‘ aus. Einem gesteigerten Bedarf an Transportdienstleistung stehen somit zukünftig ohne Ergreifen geeigneter Maßnahmen nicht ausreichend Transportwege zur Verfügung, um bei Beibehaltung der geltenden Sicherheitsstandards ein der Nachfrage entsprechendes Angebot generieren zu können.

Hiervon betroffen ist neben dem Streckenflug insbesondere der Rollverkehr an hochfrequentierten Verkehrsflughäfen, welche als zentrale Knotenpunkte eine Hubfunktion für international operierende Netzwerkfluggesellschaften bilden und zumeist strategisch günstig in der Nähe von dichtbesiedelten Finanz-, Technologie- und Handelszentren liegen. Eine Kapazitätserweiterung lässt sich demnach aufgrund von vielfältigen gesetzlichen Bestimmungen, mangelndem Flächenangebot und langwierigen Planfeststellungsverfahren oftmals nicht oder nur unzureichend realisieren und ist zudem in der Regel mit hohen Investitionen verbunden.

Gerade bei schlechten Sichtbedingungen und in Anbetracht des zukünftig vorhandenen Wachstums muss jedoch im Sinne aller Akteure des Verkehrssystems ‚Luftverkehr‘ sichergestellt sein, dass der Verkehr auf den Rollwegen von Verkehrsflughäfen in den gegebenen Grenzen sicher, verlässlich, effizient sowie ökonomisch rentabel stattfinden kann, um den vielfältigen Anforderungen an ein globales, wachstumsorientiertes Transportsystem des 21. Jahrhunderts gerecht werden zu können.

Abhilfe schaffen soll u.a. das modular aufgebaute Rollführungs- und Rollverkehrssteuerungssystem Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS). Dieses stellt eine Weiterentwicklung des bereits vorhandenen Surface Movement Guidance and Control System (SMGCS) dar, welches jedoch gerade bei schlechten Sichtbedingungen keine optimale Kapazitätsausnutzung bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau erlaubt. Die International Civil Aviation Organization (ICAO) hat mit dem A-SMGCS Manual, welches als ICAO Doc 9830 im Jahr 2004 veröffentlicht wurde, ein Handbuch herausgegeben, in welchem technische Erfordernisse des neuen Systems festgelegt sind und Implementierungsempfehlungen für bestehende oder künftige Rollverkehrsinfrastruktureinrichtungen auf Basis von A-SMGCS gegeben werden.

Eine entscheidende Rolle hierbei spielen die operationellen Gegebenheiten an einem Verkehrsflughafen, aus welchen die Erfordernisse an das jeweils dort zu integrierende A-SMGCS resultieren. Aus diesem Grund hat die ICAO in dem oben genannten Handbuch in

Appendix A 36 Standardtypen von Verkehrsflughäfen anhand verschiedener Charakteristika definiert und den jeweiligen Typen in einer Typen-Level-Matrix Implementierungslevel zugeordnet. Somit können reale Verkehrsflughäfen anhand dieser Vorgaben typisiert und anhand der Appendizes B und C dementsprechende Implementierungsempfehlungen abgeleitet werden. Jedoch wird im Dokument selbst darauf verwiesen, dass es sich bei der Zuordnung lediglich um „an example of one means of grouping“, also um ein Beispiel für eine Art der Zuordnung, handelt.<sup>2</sup>

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu analysieren, inwiefern diese Typisierung und die mit der Zuordnung korrelierenden Empfehlungen sinnvoll sind. Hierzu wird eine Auswahl geeigneter mitteleuropäischer Verkehrsflughäfen typisiert und gruppiert, um diese nachfolgend der Typen-Level-Matrix zuzuordnen. Anschließend erfolgt die Evaluation der in den Appendizes B und C des ICAO Doc 9830 dargestellten Zuordnungen dahingehend, ob die für die jeweiligen Typen vorgesehenen Implementierungslevel sinnvoll erscheinen. Weiterhin soll eine Empfehlung abgeleitet werden, ob und – falls erforderlich – in welchen Fällen andere Zuordnungen bzw. Gruppierungen zweckmäßig sind.

Als Ergebnis dieser Evaluation kann festgehalten werden, dass das von der ICAO vertretene allgemeine Konzept zur Abgabe einer A-SMGCS-Implementierungsempfehlung als nicht zweckdienlich befunden wird. So hat die Analyse der Appendizes A bis C des ICAO Doc 9830 gezeigt, dass insbesondere Appendix A zum einen eklatante Mängel aufweist und zum anderen die entwickelten Kriterien für eine Anwendung bei ausstehenden Implementierungsentscheidungen nicht differenziert genug sind. Dieser Umstand wirkt sich aufgrund des konsekutiven Charakters des in den Appendizes A bis C vertretenen Gesamtkonzepts direkt und verfälschend auf die in den Appendizes B und C getätigten Implementierungsempfehlungen aus. Dies hat zur Folge, dass die Appendizes B und C in ihrer Einbettung ins Gesamtkonzept ebenfalls als nicht zweckdienlich erachtet werden müssen.

---

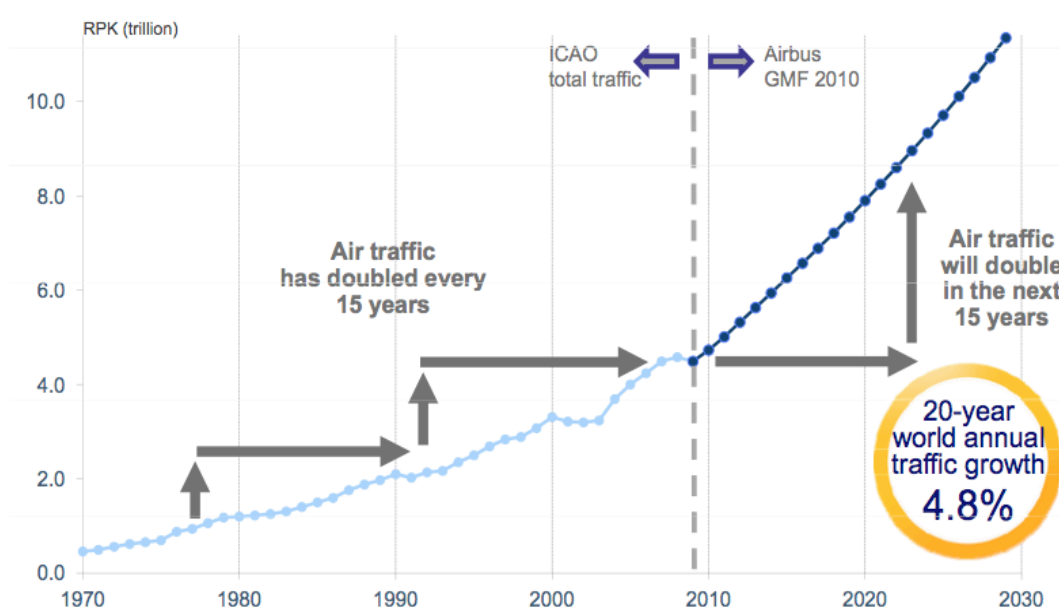
<sup>2</sup> s. ICAO Doc 9830, S. B-1, /5/

# 1 NOTWENDIGKEIT DER ENTWICKLUNG DES ROLLVERKEHRS-MANAGEMENTSYSTEMS A-SMGCS

## 1.1 ENTWICKLUNG DER VERKEHRSLEISTUNG IM LUFTVERKEHR

Aufgrund des global wachsenden Passagier- und Frachtaufkommens im Luftverkehr wird es auf den zunehmend stärker frequentierten Verkehrsflughäfen immer wichtiger, die vorhandenen, knappen Kapazitäten besser auszuschöpfen und somit der wachsenden Nachfrage nach Transportdienstleistung im Luftfahrtsektor bei gleichzeitiger Wahrung der geltenden Sicherheitsstandards gerecht werden zu können.

Datenerhebungen der Deutschen Flugsicherung (DFS) haben ergeben, dass die Zahl der nach Instrumentenflugregeln durchgeführten Flüge an deutschen Verkehrsflughäfen in der Zeit von 2002 bis 2008 um etwa 26,6% zugenommen hat.<sup>3</sup> Dies entspricht einem mittleren jährlichen Wachstum von ca. 3,8%.



**Abbildung 1: Entwicklung der weltweiten Luftverkehrsleistung bis 2029<sup>4</sup>**

Der Luftfahrzeugbauer Airbus konstatiert<sup>5</sup>, dass der weltweit durchgeführte Passagierverkehr auch in Zukunft ein stetiges Wachstum erfahren wird. So wurde im Jahr 2009 im Luftverkehr

<sup>3</sup> DFS GmbH, S. 5, /1/

<sup>4</sup> Airbus Industries, S. 12, /2/

<sup>5</sup> Airbus Industries, S. 2 ff., /2/

eine Gesamtverkehrsleistung von ca. 4,8 Billionen Passagierkilometern (RPK) generiert. Für das Jahr 2029 erwartet man eine Steigerung auf 12,0 Billionen Passagierkilometer, was einer Steigerung um 150 % in 20 Jahren entspricht. Diesen Zusammenhang veranschaulicht Abbildung 1. Hinsichtlich des Passagierverkehrs lässt sich feststellen, dass sich trotz wiederkehrender temporärer Nachfrageeinbrüche, welche beispielsweise den Ölkrisen von 1973 und 1979/80, dem zweiten Golfkrieg von 1990/91, den Terroranschlägen vom 11. September 2001 sowie der US-Finanzkrieg ab 2007 geschuldet waren, die weltweite Luftverkehrsleistung seit 1970 ca. alle 15 Jahre verdoppelt hat, woraus sich ein prognostiziertes jährliches Wachstum von 4,8% ergibt. Für den Frachtmarkt werden ähnliche Wachstumsraten erwartet: Boeing rechnet von 2010 bis 2029 mit einem jährlichen Durchschnittsanstieg der Transportleistung im Luftfrachtverkehr um 5,4 %.<sup>6</sup>

## 1.2 NOTWENDIGKEIT ZUR KAPAZITÄTserWEITERUNG MITTELS A-SMGCS

Die oben genannten Zahlen belegen den bisher und zukünftig steigenden Bedarf an Transportdienstleistungen weltweit. Um dieser stetig wachsenden Nachfrage jedoch gerecht werden zu können, muss das vorhandene Verkehrssystem ‚Luftverkehr‘ bei begrenztem Transportwegeangebot zwangsläufig eine Kapazitätserweiterung erfahren, da ansonsten ein Marktungleichgewicht entsteht, in welchem das vorhandene Angebot die zu große Nachfrage nicht decken kann. Somit wäre der Luftverkehrsmarkt aus ökonomischer Sicht unzureichend bedient, es käme zu einer Teuerung der Beförderungs- und Transportpreise und damit zu einer nachhaltigen Beeinträchtigung der Wettbewerbsfähigkeit des Luftverkehrs gegenüber anderen Verkehrssystemen, insbesondere auf kontinentalen Kurzstrecken im Passagierverkehr sowie auf Mittel- bis Langstrecken im Frachtverkehr mit zeitunkritischen Gütern.

In Europa beispielsweise behilft man sich zur Zeit durch die Einführung des *Single European Sky* (SES). Dieses Konzept beinhaltet im Wesentlichen eine Zusammenlegung vieler kleiner national kontrollierter Lufträume zu größeren, supranationalen und somit effizienter gestaltbaren sog. *Functional Airspace Blocks* (FAB), um die immer größer werdende Anzahl an Flugbewegungen innerhalb Europas unter Wahrung der derzeitigen Sicherheitsanforderungen bewältigen zu können. Laut EUROCONTROL werden täglich ca. 26.000 Flüge in Europa durchgeführt, welche dem jeweils nationalen *Air Traffic Management* (ATM) unterliegen. Dies verursacht Kosten in Höhe von zwei bis drei Milliarden Euro jährlich.<sup>7</sup> Durch die Einführung des SES erhofft man sich aufgrund von Strukturänderungen, Zusammenlegungen und Funktionalitätsoptimierungen eine Senkung dieser Kosten bei gleichzeitig steigenden Kapazitäten.

---

<sup>6</sup> Boeing Company, S. 5, /3/

<sup>7</sup> EUROCONTROL, /4/

Als kapazitätsbegrenzend erweisen sich in diesem Zusammenhang jedoch nicht nur hochfrequentierte Lufträume innerhalb wie auch außerhalb Europas, sondern ebenso die Verkehrsflughäfen, welche als Bodeninfrastruktureinrichtungen die Quellen und Senken des Luftverkehrs darstellen. Diese liegen vorrangig in der Nähe von dichtbesiedelten urbanen Mittel- und Oberzentren mit weitreichenden Synergieeffekten für die Finanz-, Technologie- und Wirtschaftsbranche sowie hohem Bedarf an privaten und geschäftlichen Transportdienstleistungen. Aufgrund der dichten Besiedelung sowie des vergleichsweise erhöhten Platzbedarfs für Verkehrsflughäfen ist eine Kapazitätserweiterung durch Ausbaumaßnahmen nicht immer zweckmäßig bzw. teilweise unmöglich. Langwierige Planfeststellungsverfahren sowie immense Investitionskosten verstärken diesen Effekt. Zudem ist der Ausbau eines Verkehrsflughafens mit seinem Charakteristikum als Verkehrsknotenpunkt mehrerer Verkehrssysteme (bspw. Luftverkehr, Schienenverkehr, Individualverkehr) immer auch eine Abwägung zwischen möglichst kurzen Wegen bei gleichzeitig hoher Passagierabfertigungsrate. Oftmals ist ein solcher Ausbau nur durch Eingehen von Kompromissen durchführbar, um das Gesamtsystem ‚Verkehrsflughafen‘ leistungsfähig und flexibel zugleich zu gestalten.<sup>8</sup>

Ebenso stellen schlechte Sichtbedingungen, wie sie bei Schlechtwetterlagen vorhanden sind, ein Problem bei der Ausnutzung bereits vorhandener Kapazitäten dar. Diese verhindern eine optimale Rollverkehrsführung, da die Rollbewegungsraten und damit die Verkehrskapazitäten durch die nötige Anpassung der Rollgeschwindigkeiten minimiert werden und sich somit die Bodenstand- und Rollzeiten erhöhen. Dies bedeutet für die Airlines steigende Kosten in Form von Flughafenentgelten, welche zur Kostendeckung an den Verbraucher, also den Passagier, weitergegeben werden.

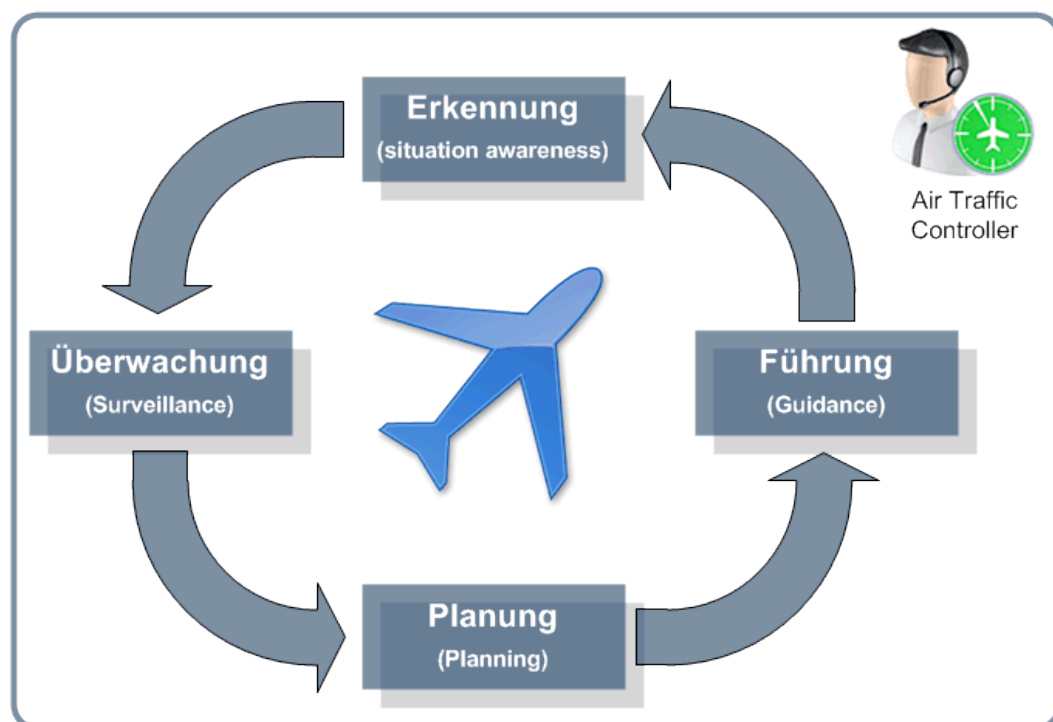
Um die vorhandene knappe Kapazität von komplexen Verkehrsflughäfen mit hohem Rollverkehrsaufkommen auch bei schlechten Sichtbedingungen besser nutzen zu können, gibt es bereits seit längerem Rollverkehrssysteme, welche zur Optimierung des Rollverkehrsmanagements beitragen sollen, nach heutigem Maßstab jedoch Defizite aufweisen. Diese sollen durch den Einsatz einer neuen Generation von Rollverkehrssystemen, welche als *Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems* (A-SMGCS) bezeichnet werden, behoben werden. Um ein besseres Verständnis für die Notwendigkeit zur Einführung von A-SMGCS zu erhalten soll daher nachfolgend in Kapitel 1.2.1 auf die derzeitigen Defizite bei der Durchführung des Rollverkehrsmanagements eingegangen werden. Anschließend erfolgt in Kapitel 1.2.2 eine Zusammenschau über die bei der Entwicklung von A-SMGCS verfolgten Ziele.

---

<sup>8</sup> Busacker, S. 6 f., /6/

### 1.2.1 DEFIZITE BEI DER DURCHFÜHRUNG DES ROLLVERKEHRSMANAGEMENTS OHNE A-SMGCS

Herkömmliche Rollverkehrsführungssysteme und –prozesse werden von der ICAO unter dem Begriff *Surface Movement Guidance and Control Systems* (SMGCS) zusammengefasst und sind in ICAO Doc 9476 klassifiziert. Sie dienen dazu, den Rollverkehr auf den Rollfeldern von Verkehrsflughäfen zu koordinieren und zählen somit analog wie die Koordination der in der Luft befindlichen Luftfahrzeuge zum Aufgabenspektrum der jeweils zuständigen Flugsicherung. Im Allgemeinen wird die Gesamtheit der *Rollverkehrsführung* eines Verkehrsflughafens als Rollverkehrsmanagement bezeichnen und lässt sich wie in Abbildung 2 darstellen in die Funktionen Erkennung, Überwachung, Planung und Führung unterteilen:



**Abbildung 2: Vier Grundfunktionen des Rollverkehrsmanagements<sup>9</sup>**

Bei den auf Verkehrsflughäfen agierenden Lotsen unterscheidet man aufgrund ihrer unterschiedlichen Aufgabenbereiche in Allgemeinen vorrangig zwischen Tower- und Groundlotsen. Während Towerlotsen einzig für den Betrieb der Start- und Landebahnsysteme (Runways) sowie deren direkte Zufahrtswege zuständig sind, obliegt den Groundlotsen die Aufgabe, die auf den übrigen Rollbahnen (Taxiways) und dem Vorfeld (Apron) befindlichen Luft- und Kraftfahrzeuge zu koordinieren und somit dafür zu sorgen, diese effizient und sicher zu

<sup>9</sup> eigene Darstellung nach Busacker, S. 13, /6/

deren Parkposition oder zur zugewiesenen Startbahn zu lotsen. Die Gesamtheit aller berollbaren Flächen eines Verkehrsflughafens wird als *Bewegungsfläche* bezeichnet. Auf hochfrequentierten Verkehrsflughäfen mit komplexer Rollwegearchitektur sind auch spezielle Apronlotsen im Einsatz, welche nur den Rollverkehr auf dem Vorfeld regeln und somit die Groundlotsen entlasten sollen. Da dies jedoch die Ausnahme und für die in dieser Arbeit getätigten Betrachtungen nicht implizit relevant ist, wird im Folgenden nicht näher zwischen Apron- und Groundlotsen unterschieden, sondern nur der Begriff Groundlotse gebraucht.

Die bisherige Kontrolle sowie Steuerung des Rollverkehrs im täglichen Flugbetrieb sieht vor allem eine manuelle Handhabung durch Groundlotsen sowie Luftfahrzeug- und Kraftfahrzeugführer vor und bedient sich hierfür visueller wie akustischer Hilfsmittel. Während beispielsweise die Piloten zwecks Positionsbestimmung fortlaufend Meldung an den ihnen zugewiesenen Groundlotsen machen müssen, übermittelt wiederum der Lotse in regelmäßigen Abständen detaillierte Rollanweisungen an die Cockpitbesatzung und überwacht den Rollverkehr visuell, zum Beispiel mittels Fernglas. Neben dem Sprechfunk stehen dem Groundlotsen auch noch das *Surface Movement Radar* (SMR) – auch Bodenradar genannt – zur Verfügung.<sup>10</sup> Ein synonyme Begriff für SMR ist ASDE, was für *Airport Surface Detection Equipment* steht.<sup>11</sup> SMR ist ein gewöhnliches analoges Radarsystem und kann keine Identifikation der Fahrzeuge auf dem Rollfeld vornehmen, so dass diese lediglich als Punktmassen ohne Kennung auf dem Radarschirm dargestellt werden. Weiterhin kann das System nicht aktiv zwischen Luft- und Kraftfahrzeugen unterscheiden, sondern stellt diese aufgrund ihrer differierenden Radar-Resorptionsflächen nur als unterschiedlich groß ausgeprägte Punktmengen dar.<sup>12</sup> Weiterhin kommen in SMGCS-Umgebungen gemäß ICAO Doc 9476 beleuchtete sowie nicht-beleuchtete farbige Mittellinien (*Painted Centre Lines*), Flugplatzkarten (*Aerodrome Charts*), Rollfeldbeschilderungen (*Aerodrome Signs*) sowie Haltemarkierungen (*Stop Bars*) zum Einsatz.<sup>13</sup> Diese Systemkomponenten stellen auch zukünftig für die Rollverkehrsführung unter A-SMGCS einen integralen Bestandteil dar, sollen jedoch weitestgehend automatisiert bzw. digitalisiert werden.<sup>14</sup>

Dennoch leisten die aufgeführten Hilfsmittel einen bisher nur rudimentären Beitrag zur Abwicklung des Rollverkehrs, zumal das SMR auf Verkehrsflughäfen noch nicht einmal verpflichtend vorhanden sein muss. Bisher ist für die Rollverkehrsführung nur der Sprechfunk

---

<sup>10</sup> ICAO Doc 9830, S. 3-5, /5/

<sup>11</sup> Die ICAO nutzt den Begriff SMR.

<sup>12</sup> s. Kapitel 4.2.1

<sup>13</sup> ICAO Doc 9476, Tabelle 2-2, /30/

<sup>14</sup> s. Kapitel 5.3



ein international anerkannter Mindeststandard.<sup>15</sup> Insofern wirken sich insbesondere schlechte Sichtverhältnisse, wie sie beispielsweise bei Schnee- und Regenfall oder Nebelbildung gegeben sind, negativ auf die Sicherheit und Effektivität des Rollverkehrsmanagement aus. Explizit diese Abhängigkeit von guten Sichtverhältnissen begründet auch die fundamentale Bedeutung der Weiterentwicklung der herkömmlichen SMGCS bei steigender Rollverkehrsnachfrage: schon heute ist die dritthäufigste Unfallursache für Flugunfälle am Boden der Orientierungslosigkeit von Piloten auf dem *Rollfeld* geschuldet.<sup>16</sup>

### 1.2.2 ZIELE BEI DER ENTWICKLUNG VON A-SMGCS

Da die Bewältigung der steigenden Belastung bis hin zu Kapazitätsengpässen unter Wahrung der geltenden Sicherheitsstandards in ihrer Gesamtheit eine komplexe Koordination von Maßnahmen erfordert, wurde das Rollverkehrsmanagementsystem *Advanced Surface Movement Guidance and Control System* (A-SMGCS) entwickelt. Dieses modular aufgebaute Rollverkehrsmanagementsystem ist eine Weiterentwicklung des bereits bestehenden, in Kapitel 1.2.1 beschriebenen *Surface Movement Guidance and Control System* (SMGCS) und dient der computergestützten Abfertigung des Rollverkehrs auf Verkehrsflughäfen. Die ICAO definiert A-SMGCS folgendermaßen:

„[A-SMGCS is a] system providing routing, guidance and surveillance for the control of aircraft and vehicles in order to maintain the declared surface movement rate under all weather conditions within the aerodrome visibility operational level (AVOL) while maintaining the required level of safety.“<sup>17</sup>

Galt bisher in der Rollverkehrsführung vorrangig das Prinzip ‚Sehen und gesehen werden‘<sup>18</sup>, so soll das automatisierte A-SMGCS die Fluglotsen auch bei steigender Arbeitsbelastung dahingehend unterstützen, die auf dem Vorfeld, den Rollwegen sowie den Lande- und Startbahnen rollenden Luft- und Kraftfahrzeuge auch bei widrigen Sichtbedingungen sicherer sowie effizienter identifizieren, koordinieren, leiten und überwachen zu können. Um dies zu realisieren bedarf es jedoch einer Verbesserung der elektronischen Rollverkehrslagedarstellung im Vergleich zu den Darstellungen, welche bereits vorhandene SMR-Systeme liefern.

Abbildung 3 auf der folgenden Seite zeigt den Vergleich einer herkömmlichen Darstellung des Rollfeldes via SMR (links) und einer Darstellung, wie sie A-SMGCS (rechts) zukünftig liefern könnte. Deutlich zu erkennen ist die viel detaillierter dargestellte und farbig hervor-

<sup>15</sup> Busacker, S. 19 f., /6/

<sup>16</sup> Learmount, /8/

<sup>17</sup> s. ICAO Doc 9830, S. ix, /5/

<sup>18</sup> ICAO Doc 9830, S. 1-1, /5/

hobene Position der Luft- und Kraftfahrzeuge auf dem Rollfeld. Weiterhin fällt auf, dass A-SMGCS die Position und Stell- bzw. Rollrichtung der Luft- und Kraftfahrzeuge nicht nur präzise erkennt, sondern die dargestellten Luftfahrzeuge auch automatisch mit ihren Flugnummern identifiziert (sog. Labelling) und dem betreuenden Groundlotsen somit die Zuordnung der einzelnen Fahrzeuge und deren Koordination insbesondere bei einem hohen Rollverkehrsaufkommen oder schlechten Sichtbedingungen wesentlich erleichtert.<sup>19</sup>



**Abbildung 3: Vergleich einer Darstellung des Rollfeldes via SMR (l) sowie via A-SMGCS (r) auf dem Rollfeld des Airport Hamburg<sup>20</sup>**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die flächendeckende Einführung und Weiterentwicklung von A-SMGCS vorrangig folgenden Zielen dienen soll<sup>21</sup>:

- Erhöhung der Sicherheit des Rollverkehrs durch Interaktion von Mensch und Maschine
  - im Allgemeinen
  - bei schlechten Sichtbedingungen
- Verringerung der Stand-, Warte- und Rollzeiten bis zum Takeoff
  - geringeren Treibstoffverbrauch
  - geringere Schadstoffemissionen
  - geringere Lärmbelastung

<sup>19</sup> Busacker, S. 19 f., /6/

<sup>20</sup> DLR, /9/

<sup>21</sup> DLR, S. 1, /7/ sowie ICAO Doc 9830, S. 1-2 f., /5/

- Optimierung der Kapazitätsnutzung des Rollverkehrs bei steigender Nachfrage
- Entlastung des für die Koordinierung des Rollverkehrs zuständigen Personals

Somit soll durch die Einführung von A-SMGCS also eine Verbesserung in Sachen Umweltverträglichkeit, Pünktlichkeit, Zuverlässigkeit, Wetterunabhängigkeit sowie Wirtschaftlichkeit des Flugbetriebes bei gleichzeitiger Steigerung der Sicherheit im Rollverkehrsmanagement erreicht werden. Untersuchungen haben ergeben, dass durch die Implementierung von A-SMGCS mittels geeigneter Algorithmen zur Optimierung der Rollverkehrsführung eine Minimierung der bei Rollvorgängen durchschnittlich benötigten Zeit ermöglicht wird. Hierbei liegen die zeitlichen Einsparungen zwischen 5 % und 20 %, was einer deutlichen Effizienzsteigerung entspricht.<sup>22</sup>

### **1.3 AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND**

A-SMGCS wird zur Zeit in einigen Feldprojekten und Experimenten unter realen Bedingungen auf seine Verlässlichkeit und Einsatzbereitschaft getestet. Hierzu hat beispielsweise das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) auf dem Forschungsflughafen Braunschweig eine Test- und Entwicklungsumgebung geschaffen, welche neben den für den Betrieb des eigentlichen Systems notwendigen Infrastruktureinrichtungen auch einen Simulationsstand beherbergt, von welchem aus die einzelnen Module unter simulierten Bedingungen getestet werden können.<sup>23</sup> Die modulare Struktur von A-SMGCS ist insofern von Bedeutung, als dass sich ein Rollführungssystem bei zukünftiger Verwendung in verschiedene Einsatzszenarien integrieren lassen muss, da die Installation eines für jeden Verkehrsflughafen individuell angefertigten Systems aufgrund der hohen Entwicklungskosten viel zu kostenintensiv wäre.<sup>24</sup> Vielmehr ist vorgesehen, eine kommunale Basisversion von A-SMGCS zur Verfügung zu stellen, welche dann durch die Einspeisung flughafenspezifischer Daten und Kartenmaterialien sowie die Installation zusätzlicher Module individuell an die operativen Bedürfnisse des Einsatzortes angepasst werden kann. Somit ist für den flächendeckenden Einsatz von A-SMGCS ein modularer Aufbau essentiell.

Abbildung 4 auf der folgenden Seite zeigt beispielsweise ein mobiles Testmodul des DLR, mittels dessen am Forschungsflughafen Braunschweig ein ATM-Datalink simuliert wird. Es

---

<sup>22</sup> Busacker, S. 5, /6/

<sup>23</sup> DLR, /10/

<sup>24</sup> Detlefsen, S. 11, /11/

soll erprobt werden, inwiefern ein solcher Datalink in zukünftigen A-SMGCS-Umgebungen zur Reduzierung des Sprechfunkverkehrs beitragen kann.<sup>25</sup>



**Abbildung 4: ATM-Datalink-Testmodul des DLR<sup>26</sup>**

Neben der experimentellen Erprobung am Forschungsflughafen Braunschweig wurde am 19. März 2008 im Rahmen einer Kooperation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Deutschen Flugsicherung (DFS) sowie des Flughafens Hamburg GmbH (FHG) auf dem Hamburg Airport der Spatensicht für den Aufbau einer gemeinsamen Feldtestplattform zur Erprobung von A-SMGCS getätigt. Durch die Installation des neuen Systems, welches nun erstmals unter realen Bedingungen getestet werden kann und seit Sommer 2009 in Betrieb ist, wird dem Hamburg Airport eine Vorreiterfunktion in Sachen Rollverkehrsmanagement zuteil. Ziel dieser Kooperation soll es laut DLR sein, „das operationelle A-SMGCS von der reinen Lotsenunterstützung hin zur Unterstützung für Piloten und Fahrzeugführer weiterzuentwickeln“.<sup>27</sup> Weitere A-SMGCS-Testumgebungen wurden zudem in Mailand, Prag, Toulouse und Zürich geschaffen und werden zur Zeit validiert.<sup>28</sup>

---

<sup>25</sup> Näheres zu Datalinks unter A-SMGCS nachfolgend in Kapitel 4.2.3

<sup>26</sup> AT-One, /49/

<sup>27</sup> s. DLR, /12/

<sup>28</sup> DLR, /50/

## 2 WISSENSCHAFTLICHE VORGEHENSWEISE

Um die globale Einsetzbarkeit von A-SMGCS zu gewährleisten, spielt die Kommunalität, also die Adaptierbarkeit des Systems an verschiedene Einsatzszenarien, eine entscheidende Rolle. So nennt die ICAO für die Implementierung von A-SMGCS in ICAO Doc 9830 unter anderem das vorrangige Ziel, dass Verbesserungen zu SMGCS derart entwickelt werden sollen, dass sie sich in modularer Form an alle Typen von Flughäfen anpassen lassen.<sup>29 30</sup> Weiterhin wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass der Einsatz von A-SMGCS nicht auf allen Verkehrsflughäfen sinnvoll ist und bei der Implementierungsentscheidung die jeweils vor Ort existenten operationalen Bedingungen berücksichtigt werden müssen.<sup>31</sup>

Um dies in internationalem Rahmen sicherstellen zu können, wurde ein matrixbasiertes Klassifizierungssystem ausgearbeitet, welches für ein nahezu beliebiges Einsatzszenario Empfehlungen bezüglich der Auswahl der zu implementierenden Einzelmodule von A-SMGCS ausspricht. Im Einzelnen beruht dieses Klassifizierungssystem auf den Appendizes A, B und C des ICAO Doc 9830. Während in App. A ausgehend von den drei Parametern Sichtverhältnisse, Verkehrsdichte und Flughafenlayout eine allgemeine Typisierung von 36 Einsatzszenarien vorgenommen wird, werden in App. B diese 36 Typen zur besseren Handhabung in fünf Gruppen eingeteilt, welche jeweils einem Implementierungslevel entsprechen. App. C ordnet den Typen bzw. entsprechenden Levels anschließend die empfohlenen A-SMGCS-Module zu.

Die ICAO selbst konstatiert jedoch, dass diese Art der Typisierung und Gruppierung von verschiedenen Einsatzszenarien nur eine Art darstellt, den zukünftigen Implementierungsbedarf von A-SMGCS-Modulen anhand der in ICAO Doc 9830 App. C festgelegten Empfehlungen standardisiert zu erfassen:

„[This] is an example of one means of grouping A-SMGCS implementation into 5 levels that together cover all cases.“<sup>32</sup>

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, das von der ICAO in ICAO Doc 9830 ausgearbeitete Typisierungssystem dahingehend zu analysieren, ob diese Art der Klassifizierung in der Praxis

---

<sup>29</sup> ICAO Doc 9830, S. 1-2, /5/

<sup>30</sup> s. Kapitel 1.3

<sup>31</sup> ICAO Doc 9830, S. 1-3, /5/

<sup>32</sup> s. ICAO Doc 9830, App. B-1, /5/

effizient anwendbar ist und ob die daraus abgeleitete Gruppierung (App. B) sowie Implementierungsempfehlungen (App. C) aus operationaler Sicht sinnvoll sind.

Um dies zu überprüfen, werden in Kapitel 6 real existierende mitteleuropäische Verkehrsflughäfen anhand der Vorgaben der ICAO typisiert und gruppiert, um sie nachfolgend der Typen-Level-Matrix zuzuordnen. Anschließend erfolgt in einem weiteren Schritt die Validierung der in den Appendizes B und C dargestellten Korrelationen dahingehend, ob die für die jeweiligen Typen vorgesehenen Implementierungslevel zweckdienlich erscheinen (Kapitel 7). Weiterhin soll eine Empfehlung abgeleitet werden, ob und – falls erforderlich – in welchen Fällen andere Zuordnungen bzw. Gruppierungen zweckmäßig sind.

Um einen Überblick über das modulare Rollführungssystem A-SMGCS zu erhalten und somit insbesondere die in ICAO Doc 9830 App. C getätigten Implementierungsempfehlungen nachvollziehen zu können, werden zudem im Vorfeld in Kapitel 3 die Primär- und Sekundärfunktionen und in Kapitel 4 der Aufbau und die Funktionsweise der Einzelkomponenten sowie deren Zusammenwirken in einer A-SMGCS-Umgebung erläutert. In Kapitel 5 erfolgt die Beschreibung der in den Appendizes A bis C des ICAO Doc 9830 angewandten Kriterien und Methoden.

Die vorliegende Arbeit schließt in Kapitel 7.4 mit einer Zusammenfassung der getätigten Betrachtungen und der daraus gewonnenen Resultate sowie einer kritischen Auseinandersetzung mit den angewandten Methoden und den in der Aufgabenstellung gegebenen Rahmenbedingungen. Hieraus wird ein Ausblick für zukünftige Betrachtungen zum Thema A-SMGCS abgeleitet.

### 3 FUNKTIONALITÄT VON A-SMGCS

Im Folgenden werden die in ICAO Doc 9830 definierten Funktionalitäten des Rollverkehrsmanagementsystems A-SMGCS vorgestellt.

A-SMGCS ist ein modular aufgebautes System und soll nach und nach in insgesamt vier Stufen auf Verkehrsflughäfen implementiert werden können. Hierbei übernimmt EUROCONTROL eine führende Rolle, indem es den beteiligten Flughäfen und Flugsicherungsdiensten bei der sukzessiven Implementierung hilft und regelmäßige Workshops und Trainings anbietet.<sup>33</sup> Gemäß ICAO Doc 9830 unterscheidet man bei der Einführung von A-SMGCS folgende Funktionen, welche in ihrer systeminhärenten Komplexität mit steigendem Implementierungsgrad zunehmen und die vier Primärfunktionen von A-SMGCS darstellen. Zudem ist eine Sekundärfunktion *Planning* vorgesehen, welche laut ICAO zukünftig aufgrund ihrer Zugehörigkeit zu den Funktionen *Routing* und *Guidance* innerhalb dieser implementiert werden soll.<sup>34</sup> Es ergibt sich folgende in Abbildung 5 gezeigte Implementierungspyramide:

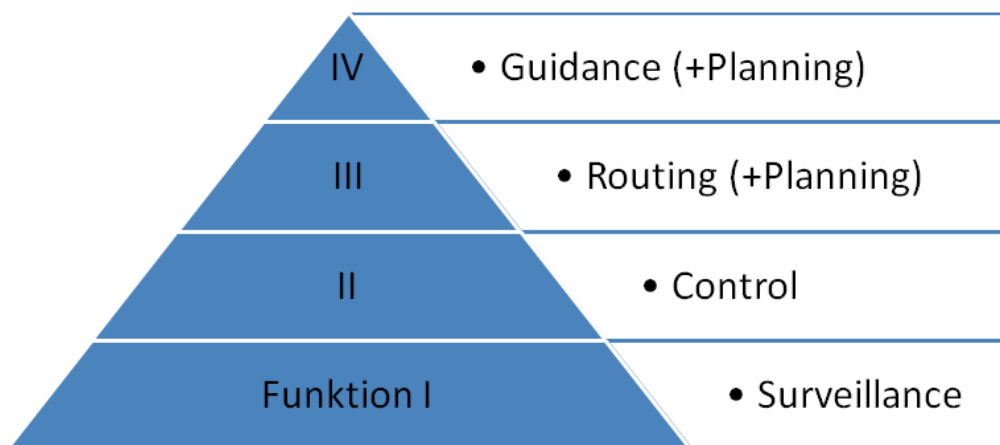


Abbildung 5: Funktionen unter A-SMGCS<sup>35</sup>

Aufgrund des modularen Aufbaus von A-SMGCS ist eine nachfolgende Funktion erst dann realisierbar, wenn die vorhergehende Funktion vollständig implementiert wurde. Die Einfüh-

<sup>33</sup> EUROCONTROL, /13/

<sup>34</sup> ICAO Doc 9830, S. 2-5 f., /5/

<sup>35</sup> eigene Darstellung

rung von *Funktion II* beispielsweise setzt die abgeschlossene Implementierung von *Funktion I* voraus.

Im Folgenden sollen nun die einzelnen A-SMGCS-Funktionen vorgestellt werden, wobei die Erläuterung der Sekundärfunktion *Planning* in der Beschreibung von *Funktion IV (Guidance)* Eingang findet.

### 3.1 A-SMGCS FUNKTION I: SURVEILLANCE

Die A-SMGCS *Funktion I* soll die Überwachung (Surveillance) sog. kooperativer wie nicht-kooperativer Objekte des Rollverkehrs unabhängig von sich ändernden Witterungsverhältnissen und Verkehrsaufkommen ermöglichen und Groundlotsen einen Überblick über die aktuelle Rollverkehrssituation am Flughafen verschaffen. Dies wird im Englischen auch als ‚ATCO situation awareness‘ bezeichnet.

Unter kooperativen Objekten versteht man im Allgemeinen Fahrzeuge, welche sich durch die Übermittlung von Transpondersignalen eindeutig identifizieren lassen. Zumeist sind dies Luftfahrzeuge. Nicht-kooperative Objekte hingegen sind am Rollverkehr partizipierende Fahrzeuge wie beispielsweise Follow-Me- bzw. Tankwägen und Shuttlebusse, welche bisher üblicherweise nicht mit Transpondern ausgestattet sind. Jedoch ist vorgesehen, sowohl Luftfahrzeug- als auch Kraftfahrzeugführern den Zugang zu A-SMGCS *Funktion I* zu ermöglichen, damit diese aktiv die Verkehrssituation beurteilen und nach Rücksprache mit dem zuständigen Groundlotsen entsprechend agieren können.<sup>36</sup> Daher soll *Funktion I* vor allem die Möglichkeit bieten, die aktuelle Rollverkehrssituation via Display grafisch darzustellen und eine differenzierende, eindeutige Identifikation kooperierender wie nicht-kooperierender Objekte vorzunehmen. Insbesondere bei Luftfahrzeugen soll hierzu das sog. *Labelling* via Flugnummer erfolgen, welches eine eindeutige Zuordnung der Luftfahrzeuge auch ohne direkten Sichtkontakt ermöglicht.<sup>37</sup>

Zudem ist die Verknüpfung von A-SMGCS mit den Anflugradarsystemen des ATM vorgesehen, um eine umfassende Nahbereichserkennung gewährleisten zu können. So soll *Funktion I* auch landende Luftfahrzeuge auf allen mit dem zu überwachenden Rollfeld verbundenen Landebahnen registrieren. Ebenso sollen startende Luftfahrzeuge erkannt werden können, um sie aus dem Rollverkehrsmanagement an die Abflugflugsicherung zu überge-

---

<sup>36</sup> EUROCONTROL, /13/

<sup>37</sup> s. Kapitel 1.2.1



ben. Ziel ist es, zwischen Rollverkehrsmanagement und ATM eine nahtlose Übergabe von startenden und landenden Luftfahrzeugen zu gewährleisten.<sup>38</sup>

Daher ist es notwendig, dass A-SMGCS innerhalb der zu überwachenden Bewegungsflächen eines Verkehrsflughafens auch eine gewisse Höhe abdeckt, um beispielsweise Fehlanflüge und Helikoptertiefflüge korrekt erfassen zu können. Die exakte Höhe ist in ICAO Doc 9830 gemäß Punkt 2.5.1.4. nur qualitativ definiert:

„Within the required area of the aerodrome, surveillance should be provided up to an altitude so as to cover missed approaches and low-level helicopter operations.“

### 3.2 A-SMGCS FUNKTION II: CONTROL

A-SMGCS *Funktion II* basiert auf *Funktion I* und erweitert diese um die Fähigkeit, bevorstehende Konfliktsituationen rechtzeitig zu erkennen sowie entsprechende Warnungen (Alert) zu generieren, welche die Groundlotsen sowie die Luft- und Kraftfahrzeugführer auf eine Gefahrensituation aufmerksam machen sollen. Hierbei ist vorgesehen, den zu kontrollierenden Bereich nicht nur auf Start- und Landebahnsysteme zu beschränken, sondern luftseitigen alle Bewegungsflächen eines Flughafens zu erfassen.<sup>39</sup> Die Kontrolle soll insbesondere folgende potentiell sicherheitsgefährdende Situationen abdecken:<sup>40</sup>

- *Stopbar Crossing*: unautorisiertes Überrollen von Stoppzeichen
- *Runway Incursion*: unautorisiertes Rollen auf aktiven Start- und Landebahnsystemen
- *Taxiway Collision*: Kollision des rollenden Verkehrs
- *Aircraft Separation*: Unterschreitung von Mindestabständen  
(z.B. bei zu dichtem Aufrollen)
- *Area Infringement*: unbefugte bzw. fälschliche Nutzung von Flächen  
(z.B. Rettungszufahrten oder Sonderabstellflächen)

Gemäß ICAO Doc 9830 Punkt 2.5.4.2. soll die Funktion *Control* folgende weitere Kriterien überprüfen, um eine Optimierung der Kapazitätsausnutzung bei Steigerung des bestehenden Sicherheitsstandards zu gewährleisten<sup>41</sup>:

<sup>38</sup> ICAO Doc 9830, S. 2-3, /5/

<sup>39</sup> EUROCONTROL, /13/

<sup>40</sup> DFS GmbH, S. 9, /1/

<sup>41</sup> Diese Auflistung enthält nur die für die Belange dieser Arbeit notwendigen Vorgaben. Die vollständige Auflistung findet sich in ICAO Doc 9830, S. 2-4 f., /5/

- Kontrolle der Reihung von gelandeten bzw. startenden Luftfahrzeugen zur Minimierung von Verspätungen
- Kontrolle der Hindernisfreiheit
- Kontrolle der Staffelungsabstände anhand folgender Kriterien für Staffelungsminima:
  - Wirbelschleppen
  - Luftfahrzeugmasse / -abmessung
  - Flughafenlayout

Stellt das System eine Verstoß gegen eine der oben genannten Kriterien fest, löst es einen entsprechenden Alarm aus. Wie bei allen computergestützten Warnsystemen ist es jedoch wichtig, dass das System Fehlalarme möglichst vermeidet, da ansonsten die Gefahr besteht, dass das Vertrauen und die Akzeptanz von Fluglotsen und Fahrzeugführer in das Gesamtsystem schwindet. Insofern rät EUROCONTROL /32/, die Ausgabe von Alarmen bei der Implementierung der Funktion *Control* vorerst auf einfache sowie gefährliche Situationen zu beschränken und nach und nach mit steigendem Verständnis der Nutzer die Alarmvielfalt zu erhöhen. So sollen beispielsweise zu Beginn nur sicherheitskritische und einfach zu ermittelnde Verstöße wie das unbefugte Berollen von Start- und Landebahnen (*Runway Incursion*) vom System als Alarm ausgegeben werden. Später kann dann eine Ausweitung der Alarmvielfalt erfolgen, indem auch weniger kritische oder aber komplexere Sachverhalte gemeldet werden. Ein Beispiel hierfür ist das Befahren des Rollfeldes durch ein nicht autorisiertes Fahrzeug.<sup>42</sup>

### 3.3 A-SMGCS FUNKTION III: ROUTING

Die A-SMGCS *Funktion III* soll die wegpunktgestützte Rollroutenplanung für auf dem Rollfeld befindliche Fahrzeuge übernehmen. Hierbei werden die Routen vom System automatisch für alle Fahrzeuge geplant und entsprechend zugewiesen. Gemäß ICAO Doc 9830 Punkt 2.5.2.4. sind bei diese automatischen Vergabe folgende Vorgaben zu erfüllen:

- Kapazitätserweiterung durch Minimierung der Rollabstände
- Vermeidung von Rollkonflikten (Crossing Conflicts)
- Anpassungsfähigkeit an operative Bedürfnisse, z.B. bei geänderter Zuweisung einer Startbahn- oder Parkposition

---

<sup>42</sup> EUROCONTROL, S. 9, /32/

- Nutzung standardisierter Terminologie und Symbole
- Möglichkeit, vergebene Routen zu validieren

Eine Änderung des Rollziels soll zu jedem Zeitpunkt möglich sein. Dies ist beispielsweise von Nöten, wenn Luftfahrzeugen aufgrund geänderter Windverhältnisse eine andere Startbahnrichtung zugewiesen wird.<sup>43</sup> Ebenso soll sich bei gleichbleibendem Start- und Zielpunkt die vom System vorgeschlagene Route ändern lassen, um beispielsweise unerwartet auftretende Hindernisse oder aufgrund von Wartung gesperrte Streckenabschnitte umgehen zu können. Dies trifft ebenfalls zu, wenn ein Pilot nach erfolgter Landung eine andere Landebahnabfahrt (Runway Exit) benutzt als die vom System Vorgesehene.

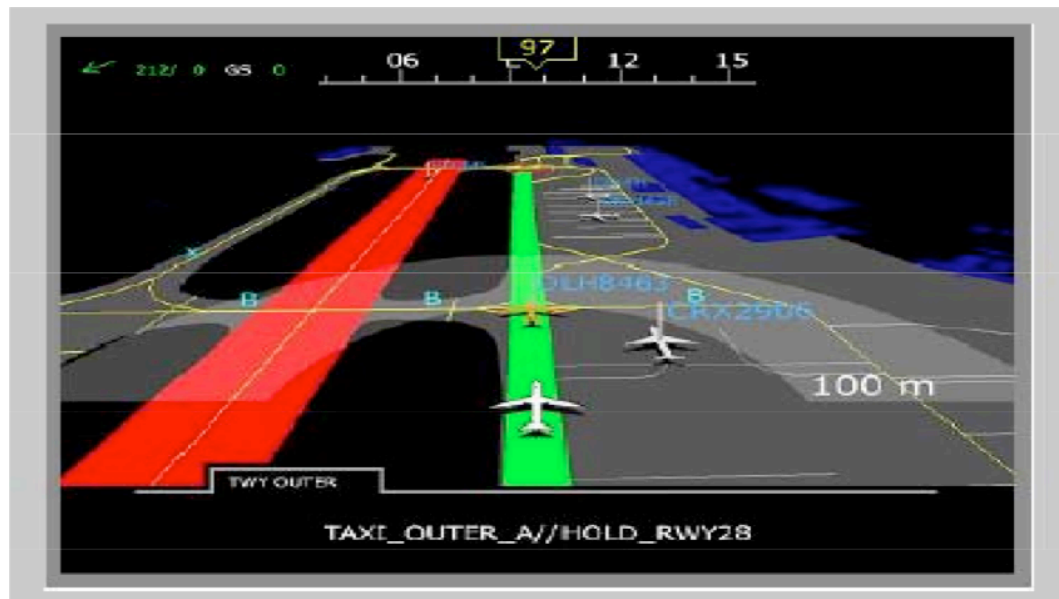
### 3.4 A-SMGCS FUNKTION IV: GUIDANCE

Die A-SMGCS *Funktion IV* befindet sich laut EUROCONTROL in der Planungsphase und wurde bisher nicht für eine Implementierung vorgesehen, da hierfür u.a. noch Vorgaben aus der Umsetzung des in Kapitel 1.2 erwähnten SES-Projektes der EU fehlen.<sup>44</sup> Gleiches gilt für die A-SMGCS Sekundärfunktion *Planning*. Die Kombination beider Funktionen soll eine automatisierte, optimierte Rollführung anhand digital hinterlegter Flugpläne ermöglichen. Hierbei steht die effiziente Nutzung der Rollwege und Stellflächen im Vordergrund. Es ist angedacht, Groundlotsen sowie Luftfahrzeugführern die optimale Rollroute grafisch auf Displays anzuzeigen, wobei die beabsichtigten Rollbewegungen der anderen Teilnehmer des Rollverkehrs sowie das aktuelle Rollverkehrsaufkommen in diese Berechnungen eingehen sollen.<sup>45</sup>

Eine solche Visualisierung, wie sie Abbildung 6 auf der folgenden Seite zeigt, dient zudem dazu, das Situationsbewusstsein des Anwenders im Sinne einer möglichst umfassenden kognitiven Wahrnehmung der Rollverkehrssituation zu schärfen. Zu erkennen sind neben den Rollwegen ebenso die Position, Rollrichtung und Kennung anderer auf dem Rollfeld befindlicher Fahrzeuge sowie Daten zur Windrichtung und der Geschwindigkeit über Grund (Groundspeed). In dem gezeigten Beispiel ist das betrachtete Luftfahrzeug angehalten, über den Taxiway ‚Taxi\_Outer\_A‘ zum Runway ‚RWY28‘ zu gelangen und dort auf weitere Anweisung zu warten („Hold“). Der freigegebene Abschnitt der vorgeschlagenen Route – in diesem Fall Taxiway ‚Taxi\_Outer\_A‘ – ist dementsprechend grün gekennzeichnet, während die vorgesehene Startbahn ‚RWY28‘ rot markiert ist, da diese erst nach Freigabe durch den zuständigen Towerlotsen berollt werden darf.

<sup>43</sup> Luftfahrzeuge starten aufgrund einer erhöhten Wirtschaftlichkeit und Sicherheit möglichst bei Gegenwind, um beim Start durch die größere Geschwindigkeit der Luft gegenüber dem Tragflügel mehr Auftrieb zu generieren als beim Start in Windrichtung.

<sup>44</sup> EUROCONTROL, /13/



**Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Rollführung für Lotsen u. Fahrzeugführer<sup>46</sup>**

Zudem ist vorgesehen, dass A-SMGCS die Groundlotsen bei der zeitlichen Planung der zu erteilenden Rollfreigaben unterstützt, indem es via Algorithmen die optimale Reihenfolge der Freigaben berechnet und diese dem Groundlotsen zur Anwendung vorschlägt. Hierdurch wird die Möglichkeit geschaffen, den Rollverkehr möglichst effizient sowie zeitlich gestaffelt anzuweisen und die im Vorfeld durch A-SMGCS geplanten Freigabebeanweisungen – bestehend aus Start up, Push back, Line up und Take Off – ‚just in time‘ zu erteilen.<sup>47</sup> Somit ist eine Reduzierung der Arbeitsbelastung der Groundlotsen und eine damit einhergehende Risikominimierung menschlichen Versagens realisierbar, da der Rollverkehr zukünftig mittel- bis langfristig anstatt wie bisher kurzfristig geplant werden kann. Hierzu unterscheidet man drei Phasen der Planung:

- strategische Planung: Planung des erwarteten Rollverkehrs, welcher erst in mehr als 20 Minuten auftritt
- prätaktische Planung: Planung des erwarteten Rollverkehrs, welcher innerhalb der nächsten 20 Minuten auftritt
- taktische Planung: Planung des aktuellen Rollverkehrs, welcher akut auftritt.

Diese Einteilung bewirkt, dass sich neben einer Erhöhung der Sicherheit die Effizienz in Sinne einer optimalen Ausnutzung der vorhandenen Rollverkehrskapazitäten steigern lässt.

<sup>45</sup> DFS GmbH, S. 11 ff., /1/

<sup>46</sup> DFS GmbH, S. 11, /1/

<sup>47</sup> DFS GmbH, S. 9, /1/

## 4 A-SMGCS-KOMPONENTEN UND DEREN FUNKTIONSWEISE

Im Folgenden soll näher auf den Aufbau, die Bestandteile, die Funktionsweise und die Sensorik der in A-SMGCS-Umgebungen zum Einsatz kommenden Komponenten eingegangen werden. Hierzu werden die verschiedenen, in A-SMGCS fusionierten Ortungssysteme vorgestellt und deren Zusammenwirken erläutert. Ein wichtiges Prinzip, welches hierbei zum Tragen kommt, ist das der Laufzeitmessung, welches auf geometrischen wie kinematischen Berechnungen beruht und eine genaue Ortung sich bewegender Objekte erlaubt. Da im Weiteren wiederholt Bezug darauf genommen wird, wird dieses Ortungsprinzip im Folgenden kurz erläutert.

### 4.1 PRINZIP DER LAUFZEITMESSUNG

Das Prinzip der Laufzeitmessung beruht auf der Berechnung von Laufzeitunterschieden, die emittierte Wellen, beispielsweise Schall- oder Funkwellen, für das Durchlaufen einer Messstrecke benötigen. Dieses aus der Natur bekannte Prinzip, welches in Abbildung 7 illustriert wird, nutzen beispielsweise Fledermäuse für ihre Echoortung.

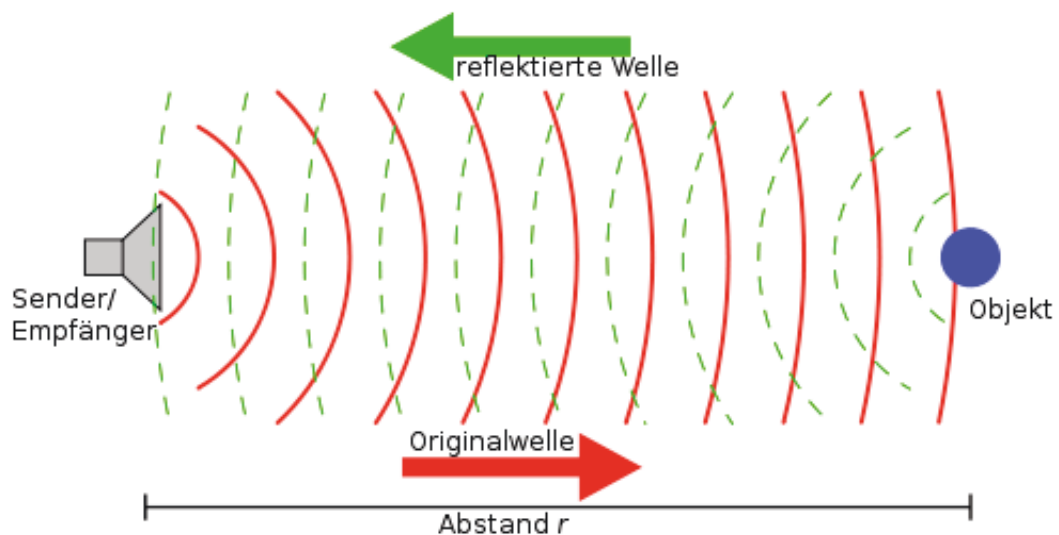


Abbildung 7: Ausbreitung und Reflexion von Wellen (Laufzeitmessung)<sup>48</sup>

<sup>48</sup> Wiora, /16/

Hierbei wird bei der Laufzeitmessung diejenige Zeit  $t_{ges}$  gemessen, welche das entsandte Signal braucht, um nach der Reflexion an einem Objekt wieder zur Stelle der Entsendung zu gelangen. Halbiert man diese Zeit  $t_{ges}$  nun, erhält man mit  $t_{einfach}$  die Zeit, welche das Signal für die Zurücklegung der einfachen Strecke benötigt. Um hieraus die Distanz  $r$  zwischen Entsendungs- und Reflexionsort ermitteln zu können, multipliziert man nun diese ermittelte Zeit  $t_{einfach}$  mit der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit des entsandten Signals in dem von ihm durchdrungenen Medium. Dies ist im Falle von Schallwellen die vom Medium und der Temperatur abhängige Schallgeschwindigkeit<sup>49</sup>, im Falle von Radarwellen, welche elektromagnetische Wellen darstellen und sich im Gegensatz zu Schall auch im Vakuum ausbreiten können, idealerweise die Lichtgeschwindigkeit<sup>50</sup>.

Es lässt sich also bei Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  anhand der nachfolgenden Formel die Distanz  $r$  zweier relativ zueinander ruhender Objekte ermitteln:

$$r = \frac{c \cdot t_{ges}}{2} = c \cdot t_{einfach}$$

Bewegt sich indes eines der beiden Objekte relativ zum anderen mit einer über die Laufzeitmessung annäherungsweise konstanten Geschwindigkeit, so benötigt man zur Positionsbestimmung im zweidimensionalen Raum drei, im dreidimensionalen Raum hingegen vier kombinierte, ortsfeste Sende- und Empfangseinheiten, welche einen spezifischen, mit der Zeit variablen Abstand  $r$  zueinander aufweisen. Durch die kontinuierliche mathematische Berechnung des jeweiligen Abstandes  $r$  wird es über den betrachteten Zeitraum somit möglich, den jeweils aktuellen Ort, die relative Hauptbewegungsrichtung sowie die durchschnittliche Geschwindigkeit des bewegten Objektes im betrachteten Raum zu ermitteln. Wählt man den betrachteten Zeitraum infinitesimal klein, so erhält man durch mathematische Berechnung anhand der ermittelten Abstände  $r$  die hinreichend genaue Position, Relativbewegungsrichtung und Geschwindigkeit des Objektes zum Messzeitpunkt. Dieses Prinzip ist auch unter dem Begriff *Multilateration* (M-LAT) bekannt.

## 4.2 BESTANDTEILE VON A-SMGCS UND DEREN FUNKTIONSWEISE

Wie bereits in Kapitel 1.3 beschrieben, stellt A-SMGCS ein modular aufgebautes System dar, welches durch die Fusionierung verschiedener aktiver und passiver Funkortungssysteme geprägt ist und hieraus seine Leistungsfähigkeit bezieht. Folgende Systeme sind für eine Implementierung vorgesehen:

<sup>49</sup> Schallgeschwindigkeit im Medium Luft auf Meeressniveau (MSL) gemäß ISA+15: ca. 340 m/s

<sup>50</sup> Lichtgeschwindigkeit im Vakuum: ca. 300.000 km/s

- Surface Movement Radar (SMR bzw. ASDE)
- Secondary Surveillance Radar (SSR)
  - Mode A/C
  - Mode S
- Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)

Diese in A-SMGCS integrierten Systeme, welche im Folgenden vorgestellt werden sollen, arbeiten nach dem in Kapitel 4.1 vorgestellten Prinzip der *Multilateration* (M-LAT) zusammen und ermöglichen eine profunde Erfassung des Rollverkehrs. Im Folgenden wird der Unterschied zwischen passiven sowie aktiven Funkortungssystemen erläutert und auf das koordiniertes Zusammenwirken dieser Systeme in A-SMGCS-Umgebungen eingegangen.

#### 4.2.1 PASSIVE FUNKORTUNG MITTELS SMR: PRIMÄRRADAR

Unter passiver Funkortung versteht man eine Ortung mittels solcher Systeme, welche durch Entsendung von hochfrequenten, kurzweiligen Energieimpulsen – im Normalfall Radarwellen – Reflexionen an in Ausbreitungsrichtung positionierten Objekten hervorrufen, wenn diese sich innerhalb der Reichweite des Systems befinden und einen hinreichend großen Reflexionsquerschnitt aufweisen. Anhand von Laufzeitmessungen<sup>51</sup> sowie den bekannten Richtungen der zurückgeworfenen Impulse („Radarecho“) lässt sich anschließend eine Ortung vornehmen, ohne dass das zu ortende Objekt hierbei aktiv Signale aussendet. Diese Systeme werden auch als Primärradarsysteme bezeichnet, da sie lediglich passiv zurückgeworfene Echos auswerten und somit nicht in der Lage sind, mittels *Labelling* eine identifizierende Kennung vorzunehmen.<sup>52</sup>

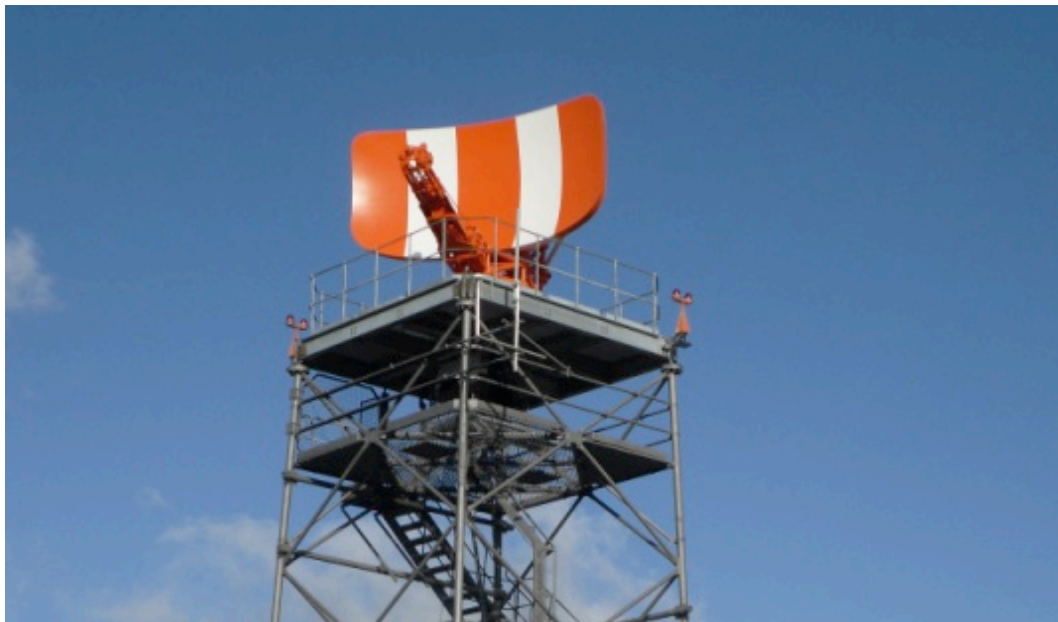
Ein solches passives System stellt das bereits in Kapitel 1.2.1 erwähnte *Surface Movement Radar* (SMR) dar, welches auch unter dem synonymen Begriff *Airport Surface Detection Equipment* (ASDE) geführt wird. SMR-Systeme besitzen eine maximale Reichweite von ca. 10,4 km und eine radiale Entfernungsauflösung von ca. 3 m. Das heißt, dass hinreichend große Objekte in einem Umkreis von 10,4 km auf 3 m genau geortet werden können. Sie werden in Hochfrequenzbereichen von ca. 23,8 bis 24,27 GHz (Ku-Band) bei hohen Antennenumlaufdrehzahlen von 60 min<sup>-1</sup> (Deutschland) betrieben, um eine hohe Winkel- und Entfernungsauflösung bei schneller Radardatenerneuerungsrate zu erhalten.<sup>53</sup>

<sup>51</sup> s. Kapitel 4.1

<sup>52</sup> s. Kapitel 1.2.1

<sup>53</sup> Fricke/Hüttig, S. 5-65 f., /18/

Abbildung 8 zeigt beispielhaft die auf Primärradartechnik basierende Parabolantenne eines SMR-Systems der Firma Easat Antennas Ltd:



**Abbildung 8: SMR-Parabolantenne der Firma Easat Antennas Ltd<sup>54</sup>**

Da SMR-Systeme jedoch keine Identifikation der georteten Objekte vornehmen können, sind diese Systeme nicht zur alleinigen Rollfeldüberwachung zugelassen.<sup>55</sup> Zudem ermöglichen sie keine Höhenerfassung<sup>56</sup>, wie sie durch die ICAO in ICAO Doc 9830 Punkt 2.5.1.4. für Module nach A-SMGCS Level I vorgesehen ist.<sup>57</sup>

Um diese Nachteile ausgleichen zu können, bedarf A-SMGCS des zusätzlichen Einsatzes aktiver Funkortungssysteme.

#### **4.2.2 AKTIVE FUNKORTUNG MITTELS SSR: SEKUNDÄRRADAR**

Aktive Funkortungssysteme unterscheiden sich von passiven vor allem dadurch, dass sie die Installation eines Transponders an den zu überwachenden Objekten zwingend voraussetzen. Der Transponder wiederum sendet aktiv Ortungssignale – sog. *Squitter-Signale* – aus, welche von den Bodenstationen der Flugsicherung abgefangen und hinsichtlich Entfernung,

<sup>54</sup> Easat Antennas Ltd, /19/

<sup>55</sup> Lücken, S. 10 f., /17/

<sup>56</sup> Fricke/Hüttig, S. 5-79, /18/

<sup>57</sup> s. Kapitel 3.1



Richtung und Geschwindigkeit mittels Laufzeitmessung ausgewertet werden können.<sup>58</sup> Daher werden diese Systeme auch als Sekundärradar oder *Secondary Surveillance Radar* (SSR) bezeichnet.

Diese Systeme sind im Gegensatz zu Primärradarsystemen in der Lage, Objektkenndaten wie die Luftfahrzeugkennung bzw. die Flugnummer zu übermitteln, wodurch ein unmittelbares *Labelling* ermöglicht wird. Abbildung 9 zeigt die Balkenantenne eines Sekundärradarsystems der Firma Easat Antennas Ltd:



**Abbildung 9: Balkenantenne einer SSR-Anlage der Firma Easat Antennas Ltd<sup>59</sup>**

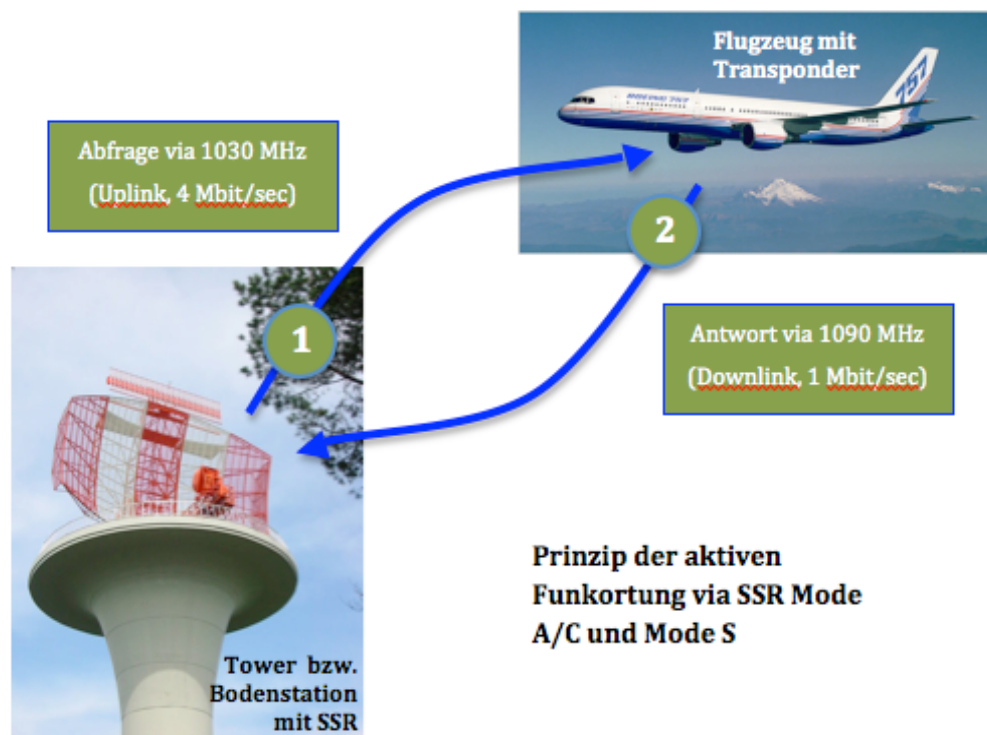
Um die Korrespondenz zwischen einer beliebigen Sekundärradaranlage und allen betriebenen Transpondern weltweit in gleichem Maße sicherstellen zu können, wurden im ICAO Annex 10<sup>60</sup> jeweils eine Frequenz für das Abfragen (1030 MHz) und eine Frequenz für das Senden (1090 MHz) von Signalen international verbindlich festgelegt und somit standardisiert. Hierbei funktionieren Sekundärradarsysteme im Allgemein derart, dass das zu ortende Zielobjekt aktiv auf die von der Bodenstation entsandten Abfragesignale antwortet, indem es

<sup>58</sup> s. Kapitel 4.1

<sup>59</sup> Easat Antennas Ltd, /21/

<sup>60</sup> ICAO Annex 10, /20/

automatisch und in regelmäßigen Abständen Antwortsignale aussendet.<sup>61</sup> Diesen zirkulären Prozess zeigt Abbildung 10.



**Abbildung 10: Funktionsprinzip der aktiven Funkortung via SSR<sup>62</sup>**

Durch das Prinzip der Laufzeitmessung<sup>63</sup> werden anschließend analog wie bei den in Kapitel 4.2.1 vorgestellten Primärradarsystemen die Entfernung, Richtung und Geschwindigkeit des zu ortenden Objektes ermittelt und auf dem Radarschirm dargestellt.

#### **4.2.3 DIE SSR-BETRIEBSMODI MODE A/C SOWIE MODE S IM ROLLVERKEHRSMANAGEMENT**

Innerhalb der aktiven Funkortungssysteme unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Betriebsmodi, namentlich dem älteren SSR Mode A/C sowie dessen Weiterentwicklung SSR Mode S. Während ersterer Modus zur eindeutigen Identifizierung eines Objektes der Zuweisung eines sog. *Squawk* durch die Flugsicherung vor jedem Flug bedarf, wird jedem SSR-Mode-S-fähigen Transponder beim Einbau in ein Luftfahrzeug ein unveränderlicher 24-bit Identifizierungscode fest zugeordnet und zentral registriert. Identifizierungskennungen müs-

<sup>61</sup> Fricke/Hüttig, S. 5-66 ff., /18/

<sup>62</sup> eigene Darstellung

<sup>63</sup> s. Kapitel 4.1

sen somit nicht vor jedem Flug von der Flugsicherung generiert und vom Luftfahrzeugführer manuell eingegeben werden. Hierdurch wird insbesondere der Verwechslungsgefahr sowie etwaigen Doppelbelegungen durch das ATM vorgebeugt. Eine Besonderheit von SSR-Mode-S-Systemen ist, dass jeder Transponder, welcher sich in der Reichweite einer SSR-Bodenstation befindet, im Rahmen einer sog. *Roll-Call-Abfrage* selektiv abgefragt werden kann. Die Abfrage aller in Reichweite befindlicher Transponder wird als *All-Call-Abfrage* bezeichnet und ist bei Mode-A/C- wie Mode-S-Anlagen gleichermaßen möglich.<sup>64</sup>

Mit SSR-Mode-A/C-Systemen lassen sich  $2^{12}$  – also 4096 – eindeutige Squawk-Codes vergeben. Systeme auf Basis von SSR Mode S hingegen bieten den Vorteil, dass sie  $2^{24}$  – also ca. 16,8 Millionen – verschiedene, eindeutige Identifikationskennungen verwalten können. Zudem lassen SSR-Mode-S-Systeme im Gegensatz zu solchen mit Mode A/C, wie in Abbildung 10 ersichtlich, einen beidseitigen Informationsaustausch zwischen Flugsicherung und Cockpitbesatzung via Down- bzw. Uplink zu. Somit lassen sich beispielsweise vordefinierte Standardinhalte wie die Gesamtpassagierzahl oder das Abfluggewicht TOW sowie individuell erstellte Mitteilungsinhalte übertragen.<sup>65</sup> Hierdurch wird zum einen eine deutliche Reduzierung des Sprechfunkverkehrs herbeigeführt, was sowohl für die Groundlotsen als auch die Piloten eine Minderung der situativen Stressbelastung bedeutet. Zum anderen wird der Gefahr von Verständigungsproblemen bzw. -fehlern vorgebeugt, da viele entscheidende Informationen nicht mehr verbal, sondern digital übertragen werden und anschließend abzulesen sind.

Ein weitere Vorteil von SSR-Mode-S-Systemen ist, dass diese in der Lage sind, in variierenden Intervallen alle 0,8 bis 1,2 Sekunden selbstständig ein sog. *Squitter*-Signal zu senden, durch welches man mittels Laufzeitberechnung die Lage des emittierenden Objektes ermitteln kann, ohne dass zuvor eine manuell initiierte Abfrage des Transponders via 1030 MHz erfolgt sein muss.<sup>66</sup>

Da SSR-Mode-A/C-Systeme nur eine maximale Auflösung von 100 m erreichen, eignen sich diese nicht für das Rollverkehrsmanagement und sind daher auch nicht für dieses zugelassen. Dies liegt daran, dass ein solches Auflösungsvermögen oberhalb der Größenordnung 1 bis 3 m keinesfalls für die Ortung von Rollverkehr ausreichend ist. Außerdem können sich Transponderantworten bei geringen Laufzeitunterschieden frequenzselektiv überlagern und sind dann nicht mehr decodierbar<sup>67</sup>, wodurch eine Auswertung der von der Bodenstation empfangenen Signale unmöglich wird bzw. fehlerhafte Ergebnisse berechnet werden. Dies

<sup>64</sup> Busacker, S. 17 f., /6/ sowie Fricke/Hüttig, S. 5ff., /18/

<sup>65</sup> Fricke/Hüttig, S. 5-73, /18/

<sup>66</sup> Fricke/Hüttig, S. 5-70 ff., /18/

<sup>67</sup> Dieser Effekt wird auch *synchronous garble* genannt.

könnte auch bei nur kurzzeitigem Auftreten gerade bei hochfrequentierten Rollfeldern und mittleren bis hohen Rollgeschwindigkeiten insbesondere bei unzureichenden Sichtbedingungen rasch zu fatalen Situationen führen. Zudem ist die Anzahl der Mode-A/C-Transponder, die ein SSR-System zur selben Zeit verwalten kann, wie bereits oben erwähnt auf 4096 begrenzt. Somit sind theoretisch wie praktisch gerade bei Großflughäfen versehentliche Squawk-Doppelbelegungen nicht unwahrscheinlich. Daher werden diese Transponder vorrangig für die Koordinierung von im Endlandeanflug befindlichen Luftfahrzeugen eingesetzt und müssen bei am Boden befindlichen Luftfahrzeugen abgeschaltet werden.<sup>68</sup>

SSR-Mode-S-Transponder hingegen werden nicht deaktiviert, wenn sich das Luftfahrzeug am Boden befindet, da hier mit 16,8 Millionen Identifikationskennungen insgesamt wesentlich mehr Transponder verwaltbar und durch die flugzeugfeste Vergabe dieser Verwechslungen von vornherein ausgeschlossen sind. Zudem ist es technisch möglich, Signalüberlagerungen zu erkennen und die daraus resultierenden Laufzeitfehler mit Algorithmen so hinreichend genau zu approximieren, dass auch fehlerhafte bzw. unvollständig übermittelte Signale verarbeitet werden können.<sup>69</sup>

#### **4.2.4 FUNKORTUNG VIA ADS-B**

Die bisher vorgestellten aktiven wie passiven Ortungssysteme besitzen einen entscheidenden Nachteil: liegen die zu ortenden Objekte beispielsweise im Windschatten von Terminals und anderen Fahrzeugen, so kann es sein, dass die Funktionalität dieser Systeme nicht ausreichend gewährleistet ist, wenn kein direkter – sprich hindernisfreier – „Sichtkontakt“ zu den Empfangsantennen der Bodenradarsysteme besteht. Aus diesem Grund wurde ADS-B, was für Automatic Dependent Surveillance - Broadcast steht, entwickelt.

Dieses System erlaubt es, die vom Luftfahrzeug durch Eigenbestimmung ermittelte Position automatisch an SSR-Mode-S-fähige Multilaterationsantennen zu senden. Windschatteneffekte können nicht mehr auftreten, da die Positionsbestimmung nicht mehr auf der Berechnung von Laufzeitunterschieden in einem bodengebundenen Funkortungsnetz basiert, sondern satellitengestützt beispielsweise via *Global Positioning System* (GPS) erfolgt.

Auch bei diesem System wird – genauso wie bei den bisher vorgestellten Funkortungssystemen – mittels *Multilateration* ein Laufzeitunterschied gemessen und somit die Position des zu ortenden Objektes bestimmt. Jedoch erfolgt diese Laufzeitmessung nicht mithilfe der am Boden installierten M-LAT-Antennen und auf Basis der Ausbreitungs- und Reflexionseigenschaft von Radarwellen, sondern durch die synchrone Entsendung kodierter Radiowellen

---

<sup>68</sup> Busacker, S. 17 f., /6/

<sup>69</sup> Heyder, S. 15 ff., /22/ sowie Busacker, Torsten, S. 18, /6/

durch mindestens vier verschieden positionierte geostationäre Satelliten.<sup>70</sup> Diese Radiowellen, welche sich aufgrund ihrer Beschaffenheit als elektromagnetische Wellen in etwa mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, dienen der Informationsübermittlung und enthalten hinreichend genaue Auskünfte über die aktuelle Position sowie die exakte Uhrzeit des emittierenden Satelliten. Anhand dieser Laufzeitunterschiede der empfangenen Signale einzelner Satelliten können die im Luftfahrzeug integrierten GPS-Empfänger anschließend selbstständig ohne weitere Korrespondenz ihre aktuelle Position und Geschwindigkeit ermitteln. Hierbei erreichen optimierte GPS-Systeme eine Genauigkeit von bis zu 1 cm, was ausreichend für die Rollverkehrsführung ist. Abbildung 11 illustriert entsprechende M-LAT-Antennen, wie sie auf dem im Juni 2012 neu zu eröffnenden Verkehrsflughafen Berlin-Brandenburg Willy Brandt (BER)<sup>71</sup> eingesetzt werden sollen:



**M-LAT-Antennen**

**Abbildung 11: M-LAT-Antennen, wie sie künftig am BER eingesetzt werden<sup>72</sup>**

Zur Übermittlung der eigenständig bestimmten Position ist es bei Einsatz der ADS-B-Funkortungstechnologie ausreichend, wenn Funkkontakt mit einer einzigen M-LAT-Antenne besteht. Daher ist bei der Planung einer ADS-B-Implementierung zu berücksichtigen, dass für jeden Punkt des Rollfeldes der hindernisfreie Funkkontakt zu mindestens einer M-LAT-

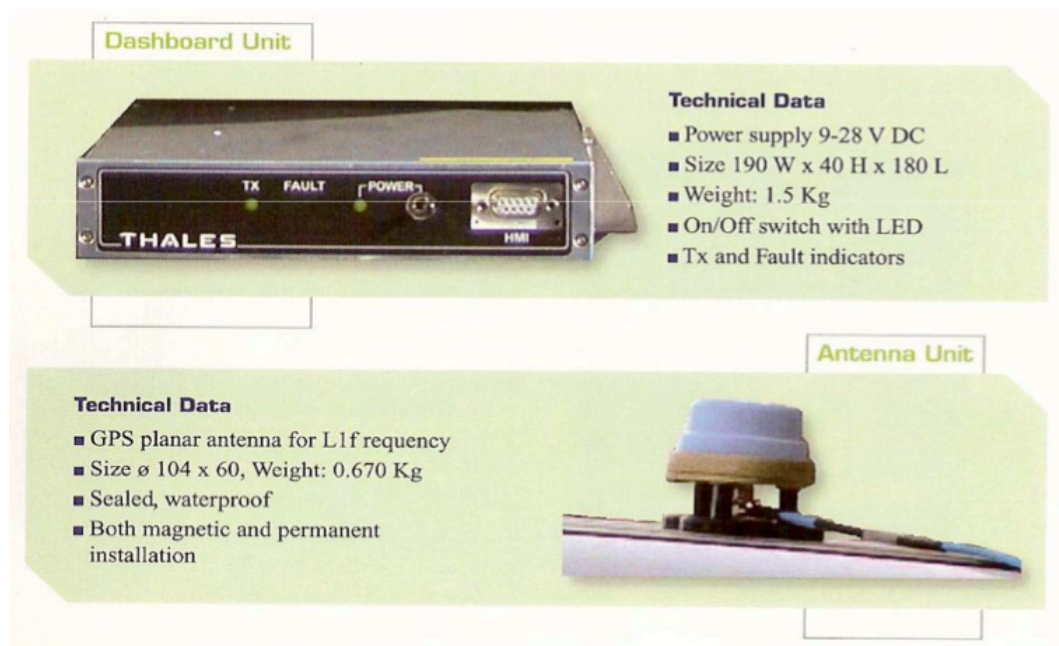
<sup>70</sup> Mensen, S. 368 f., /23/

<sup>71</sup> Projektbezeichnung: Berlin Brandenburg International (BBI)

<sup>72</sup> DFS GmbH, S. 21, /1/



Antenne gewährleistet ist. Der Austausch der mittels GPS erhobenen Positionsdaten zwischen ADS-B und A-SMGCS erfolgt über die SSR-Mode-S-Antwortfrequenz (1090 Mhz). Das hierbei entsandte Signal wird auch als *Extended Squitter*-Signal bezeichnet, da es eine Erweiterung der Squitter-Methode aktiver Funkortungssysteme darstellt, wie sie beispielsweise bei SSR-Mode-S-Systemen Verwendung finden.<sup>73 74</sup>



**Abbildung 12: ADS-B Komponenten für den Einsatz in Kraftfahrzeugen<sup>75</sup>**

Für die Korrespondenz von Luft- und auch Bodenfahrzeugen via ADS-B benötigt man entsprechende Sensorik. Abbildung 12 zeigt die beiden Komponenten, welche in Kraftfahrzeugen zum Einsatz kommen sowie deren Spezifikationen. Es handelt sich hierbei um eine ins Fahrzeuginnere einzubauende Bedieneinheit (oben) sowie die GPS-Antenneneinheit (unten).

### 4.3 SENSOR DATA FUSION

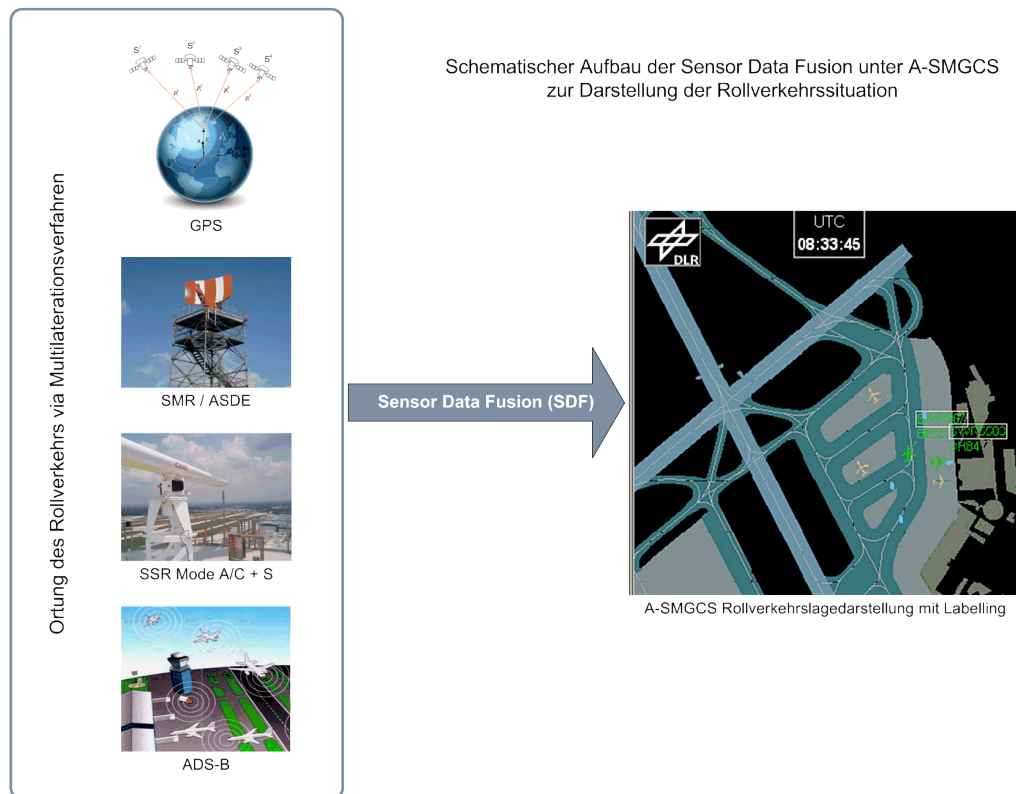
Bei der Entwicklung von A-SMGCS wurde sehr viel Wert auf die Redundanz der zum Einsatz kommenden Systeme gelegt. Daher sind in A-SMGCS alle im Kapitel 4.2 vorgestellten aktiven wie passiven Funkortungssysteme integrativ kombiniert, um eine höchstmögliche Ortungsgenauigkeit, Sicherheit sowie Zuverlässigkeit zu garantieren. Die Kombination dieser

<sup>73</sup> s. Kapitel 4.2.3

<sup>74</sup> Lücken, S. 18 f., /17/

<sup>75</sup> DFS GmbH, S. 18, /1/

Systeme wird als *Sensor Data Fusion* (SDF) bezeichnet und lässt sich wie in Abbildung 13 gezeigt schematisch darstellen:



**Abbildung 13: Sensor Data Fusion unter A-SMGCS<sup>76</sup>**

Die Vorzüge der *Sensor Data Fusion* im Bezug auf die redundante Nutzung in A-SMGCS sollen im Folgenden zusammenfassend beleuchtet werden.

#### 4.3.1 REDUNDANZ

Während Primärradaranlagen wie das SMR bzw. ASDE nicht darauf angewiesen sind, dass ein Objekt zwecks Radarerfassung aktiv Signale generiert, können Sekundärradarsysteme wie SSR-Mode-A/C sowie SSR-Mode-S nur dann im Rahmen einer operationellen Flug- und Rollverkehrsüberwachung genutzt werden, wenn die zu erfassenden Objekte aktiv Transpondersignale aussenden. Dennoch stellen die Primärradaranlagen einen integralen Bestandteil von A-SMGCS dar, auch wenn Sekundärradarsysteme aufgrund ihrer Fähigkeit, Objekte anhand ihres *Squawks* identifizierend zuordnen zu können, wesentlich komfortabler und effizienter sind. Dies liegt darin begründet, dass durch den zusätzlichen Einsatz von

<sup>76</sup> eigene Darstellung unter Zuhilfenahme von Abbildung 3, Abbildung 8 und Abbildung 9

Primärradarsystemen Luft- und Bodenfahrzeuge auch bei inoperablem Sekundärradar bzw. Transponder erfassbar sind. Versagt eine der beiden Komponenten aufgrund eines technischen Defekts oder werden diese mutwillig manipuliert – dies wäre gemäß § 315 StGB als gefährlicher Eingriff in den Luftverkehr zu werten –, so ist eine Erfassbarkeit und Ortung durch das Primärradarsystem trotzdem gewährleistet. Selbiges gilt für den Fall, dass Luft- und Bodenfahrzeuge nicht mit einem entsprechenden SSR-Transponder ausgestattet sind.

Durch den kombinierten Einsatz mit ADS-B-Systemen und die Verwendung von M-LAT-Antennen ist es zudem möglich, die Position eines Luft- oder Bodenfahrzeuges auch dann noch hinreichend genau bestimmen zu können, wenn es sich im Funkschatten anderer Objekte oder Gebäude befindet. Gerade die Möglichkeit, entsprechend ausgerüstete Bodenfahrzeuge orten zu können, begründet den Mehrwert von ADS-B innerhalb eines A-SMGCS: die Rollwege von am Rollverkehr partizipierenden Fahrzeugen können ebenso kontrolliert, gesteuert und geplant werden wie jene der Luftfahrzeuge.<sup>77</sup> Zudem ist durch die gleichzeitige Positionsbestimmung anhand von ADS-B sowie der SSR-Mode-S-Laufzeitmessung in Bezug auf die Ortung von Luftfahrzeugen auf weiten Teilen des Rollfeldes eine Redundanz gegeben, wodurch die Ausfallsicherheit erhöht wird. Ein weiterer Vorteil der Nutzung von ADS-B ist, dass durch den Einsatz von Radio- anstelle von Radarwellen die Ausbreitung der Signale nicht durch Bewölkung oder Niederschlag beeinträchtigt wird.

#### **4.3.2 ROLLVERKEHRSLAGEDARSTELLUNG**

Die von den Luft- und Bodenfahrzeugen generierten Positions- und Rolldaten werden in A-SMGCS-Umgebungen mittels Sensor Data Fusion (SDF) zusammengeführt. Zusätzlich benötigt man gemäß den Ausführungen in ICAO Doc 9830 3.3.3.7 Daten aus externen Quellen, um die aktuelle Rollverkehrssituation sowie deren künftige Entwicklung erfassen zu können. Bevor diese Daten jedoch Verwendung in A-SMGCS-Umgebungen finden sind sie laut ICAO Doc 9830 3.3.3.8 zu validieren. Hierbei sind neu erhobene Daten dahingehend zu prüfen, ob sie konsistent sind und ob sie im Bezug auf bereits bestehende, gesicherte Daten ungewöhnliche Abweichungen aufweisen. Beispielsweise wäre eine schlagartige Änderung der gemessenen Temperatur an einem mitteleuropäischen Flughafen zur Mittagszeit bei unveränderter Großwetterlage kritisch zu betrachten. Weiterhin heißt es gemäß 3.3.3.9, dass alle von A-SMGCS genutzten externen wie internen Daten mit einem Zeitstempel sowie einer Gültigkeitsdauer versehen sein sollten. Alle extern erhobenen Daten ohne entsprechende Angaben sind als ungültig zu betrachten, da deren Reliabilität nicht sichergestellt ist.<sup>78</sup>

---

<sup>77</sup> s. Kapitel 4.2.4

<sup>78</sup> ICAO Doc 9830, S. 3-5, /5/



Tabelle 1 listet jene Daten auf, welche laut ICAO zwecks Fusionierung in A-SMGCS extern erhoben werden müssen.

Flughafendaten	Meteorologische Daten	Flugbetriebsdaten
Rollfeld-Layout	aktuelle und erwartete meteorologische Bedingungen	Aerodrome Visibility Operational Level (AVOL)
physikalische u. geografische Charakteristika (z.B. Bahngefälle)	Sichtbedingungen	
aktive Start- u. Landebahnen	Wolkengrenze	Wirbelschleppen
sicherheitsrelevante Bereiche (z.B. RWY-Holding Positions)	Windgeschwindigkeit u. -richtung	
vorhandene Start- u. Landebahnen	Luftdruck	Standardinstrumentenabflug und -anflugrouten (SID bzw. STAR)
Baustelleninformationen	Lufttemperatur und Taupunkt	

**Tabelle 1: Sensor Data Fusion – benötigte externe Daten<sup>79</sup>**

Führt man die innerhalb von A-SMGCS gewonnenen Positions- und Rolldatensätze mit den in Tabelle 1 aufgeführten externen Daten zusammen, so erhält man eine grafische Darstellung, wie sie beispielsweise das System *Taxi and Control System* (TACSYS) liefert. Dieses ist als Vorläufer von A-SMGCS seit dem 1. Mai 2004 am Flughafen Frankfurt/Main im Einsatz, ist jedoch aufgrund seiner fehlenden SSR-Kompatibilität nicht in der Lage, Bodenfahrzeuge zu identifizieren.<sup>80</sup> Anhand der Fusionierung aller zur Verfügung stehenden Datensätze wird in A-SMGCS-Umgebungen eine exakte Situationsdarstellung auf Grundlage der im System hinterlegten Rollwege sowie der Start- und Landebahnarchitektur ermöglicht. Somit kann der Fluglotse die Rollverkehrssituation unter Einbezug aller auf dem Rollfeld befindlichen Luft- und Bodenfahrzeuge<sup>81</sup> auch bei schlechten Sichtbedingungen in Echtzeit beobachten bzw. kontrollieren. Unterstützt wird er hierbei, wie in Abbildung 14 auf der folgenden Seite zu sehen ist, nicht zuletzt durch die jedem Flugzeug zugeordneten Labels, welche u.a. die Kennung enthalten.<sup>82</sup> Somit lässt sich jedes Luftfahrzeug eindeutig identifizieren. Hierdurch wird die Möglichkeit geschaffen, anhand der Lagedarstellung eine effiziente und

<sup>79</sup> ICAO Doc 9830, S. 3-5, /5/

<sup>80</sup> EUROCONTROL, S. 21, /28/

<sup>81</sup> Anm.: insofern diese gemäß den Ausführungen in Kapitel 4.2.4 entsprechend ausgerüstet sind, was bspw. bei TACSYS nicht der Fall ist

<sup>82</sup> s. Kapitel 1.2.1

sichere Rollverkehrsführung auch unter widrigen Bedingungen und großem Verkehrsaufkommen zu gewährleisten.

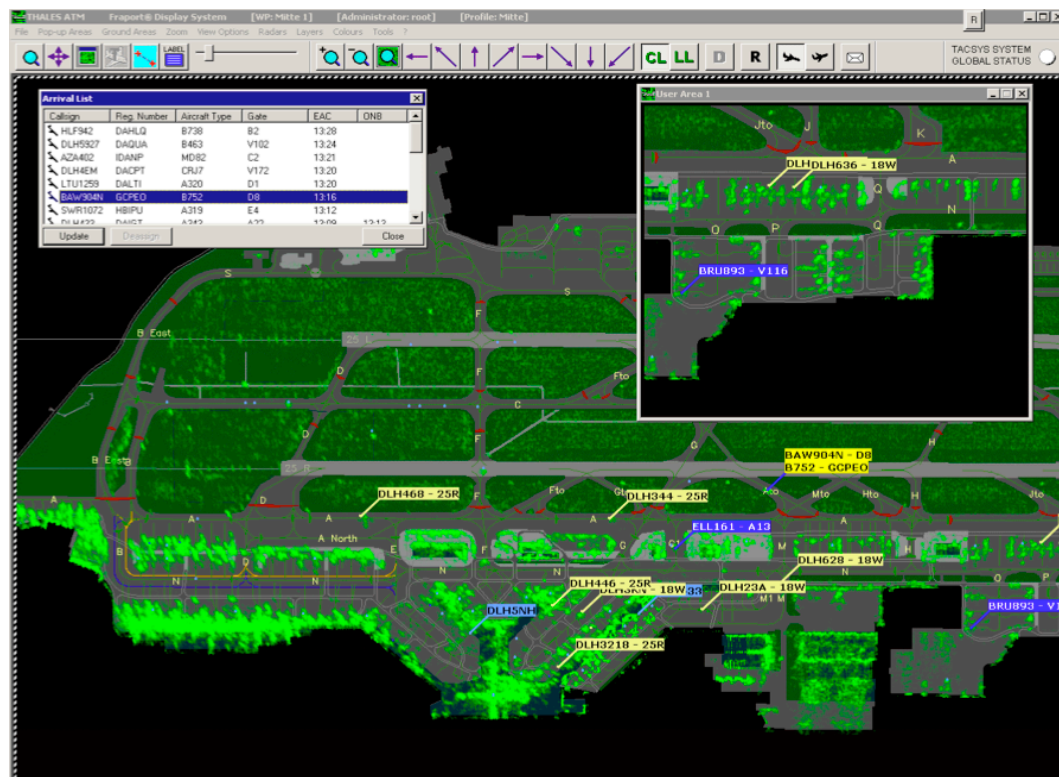


Abbildung 14: TACSYS Rollverkehrslagedarstellung am Flughafen Frankfurt/Main<sup>83</sup>

<sup>83</sup> Astheimer, S. 8, /27/

## 5 EMPFOHLENE IMPLEMENTIERUNGSKRITERIEN GEMÄß ICAO Doc 9830

Im Folgenden werden die Kriterien, welche in den Appendizes A bis C des ICAO Doc 9830<sup>84</sup> zwecks Generierung eines allgemeinen Implementierungsleitfadens für A-SMGCS-Umgebungen angewandt wurden, aufgezeigt. Hierbei wird weitestgehend dem Aufbau der in den jeweiligen Appendizes getätigten Ausführungen gefolgt, um eine bessere Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Wo dies nötig ist, erfolgen zudem erläuternde Anmerkungen zu den von der ICAO beschriebenen Kriterien. Die in diesem Kapitel gewählten Überschriften orientieren sich aus dem gleichen Grund zum überwiegenden Teil an denen des ICAO Doc 9830.

### 5.1 APPENDIX A – TYPISIERUNG

Appendix A dient der Typisierung von Verkehrsflughäfen in Hinblick auf eine potentielle Implementierung von A-SMGCS-Modulen. Um in Appendix B eine Empfehlung ausgeben zu können, welche Primärfunktionen<sup>85</sup> für einen spezifischen Flughafen zweckdienlich sind, werden daher in Appendix A drei Kriterien zu Rate gezogen, welche nachfolgend erläutert werden sollen:

- Sichtbedingungen (*Visibility Conditions*)
- Rollverkehrsaufkommen (*Traffic Density*)
- Flughafenlayout (*Aerodrome Layout*)

#### 5.1.1 KRITERIUM 1: SICHTBEDINGUNGEN

Die ICAO unterscheidet gemäß App. A die vier Sichtbedingungen *Visibility Condition 1* bis *Visibility Condition 4*. Mit zunehmender Ordnungszahl nimmt die Güte der Sichtbedingungen ab, was sich durch eine Abnahme der Sichtweiten für Piloten und Fluglotsen bemerkbar macht:

---

<sup>84</sup> Anm.: Ist nachfolgend verkürzend von Appendix A, B oder C die Rede, so bezieht sich die entsprechende Aussage jeweils auf das ICAO Doc 9830, insofern nicht explizit etwas Anderslautendes angegeben ist.

<sup>85</sup> s. Kapitel 3

**Visibility Condition 1:** weder die Sicht des Piloten noch die des Fluglotsen ist eingeschränkt – dies entspricht optimalen Sichtbedingungen insofern, als dass beide ihre zugewiesenen Aufgaben ohne Einschränkungen ausüben können.

**Visibility Condition 2:** explizit die Sicht des Fluglotsen ist nicht mehr ausreichend, um eine uneingeschränkte visuelle Überwachung aller seinem Aufgabenbereich zugewiesenen Luftfahrzeuge zu gewährleisten.

**Visibility Condition 3:** beinhaltet die Bedingungen von *Visibility Condition 2* und tritt dann ein, wenn zusätzlich die den Piloten obliegenden Aufgaben insofern nicht uneingeschränkt ausgeübt werden können, als dass diese zwar selbstständig rollen können, jedoch aufgrund von unzureichender Sicht nicht mehr in der Lage sind, Kollisionen mit anderen Rollverkehrsteilnehmern auszuschließen. Dies ist bei Sichtweiten von 400 m bis 75 m gemäß *Runway Visual Range* (RVR) der Fall.

**Visibility Condition 4:** die Fähigkeit des Piloten zum selbstständigen Rollen ist aufgrund mangelnder Sicht eingeschränkt. Dies ist bei Sichtweiten von unter 75 m gemäß *Runway Visual Range* (RVR) der Fall.

Welche Ursachen die mangelnden Sichtverhältnisse jeweils haben wird in App. A nicht näher betrachtet. Entscheidungsrelevant für die Festlegung der aktuellen *Visibility Condition* im Flugbetrieb ist lediglich die tatsächliche Situation, nicht deren Zustandekommen. Jedoch sind die Ursachen vornehmlich meteorologischer (z.B. Regen, Nebel) bzw. geographischer Art (z.B. tief stehende Sonne, Dämmerlicht). Zudem werden die *Visibility Conditions* ohne weitere Abstufung sowohl auf den Tag- als auch den Nachtflugbetrieb angewendet.<sup>86</sup>

Um die Sichtbedingungen besser statistisch erfassen zu können kann gemäß EUROCONTROL /32/ dann von sog. *schlechten Sichtbedingungen* gesprochen werden, wenn *Visibility Condition 3* oder *4* vorliegt und somit die Sichtweite weniger als 400 m beträgt.<sup>87</sup> Heyder /22/ vereinfacht diesen Sachverhalt insofern, als dass er konstatiert, dass zur Bestimmung der vorherrschenden Sichtbedingungen auch die Allwetterflugbetriebsstufen CAT I bis CAT III zu Rate gezogen werden können. Dies ist deswegen möglich, weil auch für die Bestimmung der jeweiligen CAT unter anderem die Messung der entsprechenden *Runway Visibility Range* erforderlich ist. Somit ist über die RVR ein Zusammenhang zwischen den *Visibility Conditions* und den CAT gegeben, weshalb sich mit Kenntnis der jeweiligen CAT auf die entsprechenden *Visibility Condition* schließen lässt:

<sup>86</sup> ICAO Doc 9830, S. A-1, /5/

<sup>87</sup> EUROCONTROL, S. 10, /32/

„Voraussetzung für CAT II ist u.a. eine RVR von unter 350 m. Bedingung für ‚schlechte Sichtbedingungen‘ ist [...] eine RVR von unter 400 m. Somit kann man sagen, dass an den Tagen mit CAT II und CAT III der Flughafenparameter ‚Flughafen mit schlechten Sichtbedingungen‘ [hinreichend] erfüllt ist.“<sup>88</sup>

Somit entsprechen die Bedingungen unter *Visibility Condition 3* und *4* denen unter CAT II bzw. III. Diese Vereinfachung soll im Folgenden auch in dieser Arbeit Anwendung finden. EUROCONTROL /32/ definiert weiterhin, dass ein Flughafen bezüglich der Implementierungsabwägung einer A-SMGCS-Umgebung dann *hinreichend oft* von *schlechten Sichtbedingungen* betroffen ist, wenn *Visibility Condition 3* oder *4* an mehr als 15 Tagen pro Kalenderjahr vorherrscht.<sup>89</sup> Die beiden Begrifflichkeiten *hinreichend oft* sowie *schlechte Sichtbedingungen* sollen nachfolgend gemäß der in diesem Kapitel getätigten Definitionen Anwendung finden.

### 5.1.2 KRITERIUM 2: ROLLVERKEHRSAUFGKOMMEN

Das Rollverkehrsaufkommen wird gemäß App. A in drei Kategorien eingeteilt. Ausschlaggebend hierbei ist die Betriebsstunde mit dem jeweils höchstem durchschnittlich gemessenem Verkehrsaufkommen<sup>90</sup>. Folgende Unterscheidungen werden getroffen<sup>91</sup>:

**Light (L):** maximal 15 erfasste Rollfeldbewegungen pro Start- und Landebahn bzw. weniger als 20 Rollbewegungen auf dem gesamten Rollfeld.

**Medium (M):** zwischen 16 und 25 erfasste Rollfeldbewegungen pro Start- und Landebahn bzw. zwischen 20 und 35 Rollbewegungen auf dem gesamten Rollfeld.

**Heavy (H):** mindestens 26 erfasste Rollfeldbewegungen pro Start- und Landebahn bzw. mehr als 35 Rollbewegungen auf dem gesamten Rollfeld.

### 5.1.3 KRITERIUM 3: FLUGHAFENLAYOUT

Beim Flughafenlayout, welches ein Maß für die Komplexität der Rollfeldarchitektur darstellt, werden gemäß App. A drei Kategorien unterschieden<sup>92</sup>:

**Basic (B):** Flughäfen mit *einer* Start- und Landebahn sowie *einem* Vorfeld. Beide sind durch *einen* Rollweg miteinander verbunden.

<sup>88</sup> s. Heyder, S. 10, /22/

<sup>89</sup> EUROCONTROL, S. 10, /32/

<sup>90</sup> sog. *mean busy hour*

<sup>91</sup> in Klammern angegeben findet sich jeweils die Abkürzung des vorliegenden Falles

**Simple (S):** Flughäfen mit *einer* Start- und Landebahn sowie *einem* Vorfeld. Beide sind durch *mehr als einen* Rollweg miteinander verbunden.

**Complex (C):** Flughäfen mit *mehr als einer* Start- und Landebahn sowie *mindestens einem* Vorfeld. Alle sind durch *mehrere* Rollwege miteinander verbunden.

Es lässt sich konstatieren, dass mit zunehmender Komplexität die Anfälligkeit von Fluglotsen und Fahrzeugführern steigt, Missinterpretationen und Falschbewertungen vorzunehmen und dass das Situationsbewusstsein im Sinne der Erfassung der Gesamttrollverkehrssituation abnimmt.

#### 5.1.4 TYPISIERUNGSTUPEL

Anhand der drei in den Kapiteln 5.1.1 bis 5.1.3 erläuterten Kriterien *Sichtbedingungen*, *Rollverkehrsaufkommen* und *Flughafenlayout* ergeben sich schlussendlich kombinatorisch 36 verschiedene Typen *T-j* von Verkehrsflughäfen, welche sich wie in Tabelle 2 gezeigt kategorisieren lassen:

<i>Visibility condition</i>	1	2	3	4
<i>Aerodrome type</i>	T-1:(B)(L) T-2:(B)(M) T-3:(B)(H) T-4:(S)(L) T-5:(S)(M) T-6:(S)(H) T-7:(C)(L) T-8:(C)(M) T-9:(C)(H)	T-10:(B)(L) T-11:(B)(M) T-12:(B)(H) T-13:(S)(L) T-14:(S)(M) T-15:(S)(H) T-16:(C)(L) T-17:(C)(M) T-18:(C)(H)	T-19:(B)(L) T-20:(B)(M) T-21:(B)(H) T-22:(S)(L) T-23:(S)(M) T-24:(S)(H) T-25:(C)(L) T-26:(C)(M) T-27:(C)(H)	T-28:(B)(L) T-29:(B)(M) T-30:(B)(H) T-31:(S)(L) T-32:(S)(M) T-33:(S)(H) T-34:(C)(L) T-35:(C)(M) T-36:(C)(H)

**Tabelle 2: Flughafentypisierung gemäß ICAO Doc 9830 App. A<sup>93</sup>**

Jeder Typ *T-j* ist durch ein Typisierungstupel näher spezifiziert: der erste Eintrag des Tupels gibt Aufschluss über das Flughafenlayout, der zweite Eintrag hingegen charakterisiert das Rollverkehrsaufkommen. Die Bedeutung der verwendeten Kürzel B, S, C (Flughafenlayout) sowie L, M, H (Rollverkehrsaufkommen) wurde bereits in den Kapiteln 5.1.1 bis 5.1.3 erklärt.

Bei Betrachtung der Matrix fällt auf, dass ein und derselben Flughafen mehreren Typen zugeordnet werden kann. So repräsentieren beispielsweise die Typen T-1, T-10, T-19 sowie T-28 jeweils einen Flughafen, welcher ein *Basic*-Flughafenlayout besitzt (B) und ein Rollver-

<sup>92</sup> in Klammern angegeben findet sich jeweils die Abkürzung des vorliegenden Falles

<sup>93</sup> s. ICAO Doc 9830, S. A-2, /5/

kehrskommen der Kategorie *Light* (L) aufweist. Der Flughafen wird also durch das Tupel (B)(L) beschrieben. Je nach vorherrschender Sichtbedingung – dies entspricht den Spalten der Matrix – ändert sich jedoch der Typ des betrachteten Flughafens. Somit ergibt sich bei neun grundsätzlich definierten Typisierungstupeln (Zeilen der Matrix) und vier verschiedenen Sichtbedingungen (Spalten der Matrix) die in Tabelle 2 gezeigte 9x4-Matrix, welche 36 verschiedene Flughafentypen repräsentiert.

## 5.2 APPENDIX B – TYPEN-LEVEL-MATRIX

Anhand der in Kapitel 5.1.4 vorgestellten Flughafentypisierungsmatrix lassen sich in einem weiteren Schritt für jede der in A-SMGCS-Umgebungen vorgesehenen primären Rollverkehrsmanagementfunktionen *Surveillance*, *Control*, *Routing* und *Guidance* sowie die Sekundärfunktion *Planning* Implementierungsempfehlungen ableiten.<sup>94</sup> Zu berücksichtigen sind zudem die drei Nutzergruppen (*user*), welche beim Einsatz von Rollverkehrsführungssystemen wie A-SMGCS kooperativ zusammenarbeiten: Fluglotsen, Luft- bzw. Bodenfahrzeugführer sowie das System selbst. Je nach Flughafentyp haben hierbei alle drei Nutzergruppen unterschiedliche Kompetenzen und Aufgaben, um eine sichere und effiziente Rollverkehrsführung zu gewährleisten. Fasst man diese integralen Merkmale und Bewertungskriterien – vier primäre Rollverkehrsfunktionen, 36 Flughafentypen und drei Nutzergruppen – zusammen, so ergibt sich die nachfolgend in Anhang 1 gezeigte Typen-Level-Matrix. Diese wurde von der ICAO beispielhaft erarbeitet, da aufgrund der Vielzahl von insgesamt 432 Kombinationsmöglichkeiten<sup>95</sup> keine allumfassende Darstellung möglich ist:

„Overall, the number of options is too large to be of practical assistance to anyone tasked with defining the level of implementation that is appropriate for a given aerodrome. Table B-1<sup>96</sup> is an example of one means of grouping A-SMGCS implementation into 5 levels that together cover all cases.“<sup>97</sup>

Die in dieser Matrix aufgeführten fünf Level referenzieren mit den in Kapitel 3 erläuterten A-SMGCS-Funktionen. Zu beachten ist, dass die in Anhang 1 dargestellte Typen-Level-Matrix den Soll-Zustand nach der Implementierung des jeweiligen A-SMGCS-Levels wiedergibt.<sup>98</sup> Dies bedeutet, dass sich die letzte Spalte mit der Bezeichnung *Level* auf den implementier-

<sup>94</sup> s. Kapitel 3

<sup>95</sup> Anm.: Betrachtet man zudem die Sekundärfunktion *Planning*, so ergeben sich 540 Kombinationsmöglichkeiten.

<sup>96</sup> Table B-1 entspricht der Abbildung in Anhang 1

<sup>97</sup> s. ICAO Doc 9830, S. B-1, /5/

<sup>98</sup> Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird bei den nachfolgenden Betrachtungen auf die detaillierte Unterscheidung zwischen den unter *Guidance-Ground* als \*1 bis \*4 bezeichneten Licht- und Markierungseinrichtungen verzichtet.

ten A-SMGCS-Level bezieht und eine Empfehlung abgibt, welche Funktionen bei Bestehen dieses Levels durch welchen Nutzer übernommen werden sollten. Es ist zu berücksichtigen, dass gemäß dem modularen Aufbau von A-SMGCS zur Implementierung eines neuen Levels der vorhergehende vollständig implementiert sein muss.<sup>99</sup> Zum besseren Verständnis sei folgendes Beispiel gegeben, welches der in Anhang 1 abgebildeten Typen-Level-Matrix entstammt:

An einem bestehenden Verkehrsflughafen des Typs T-1 bis T-4 sind die Aufgaben des Rollverkehrsmanagements so verteilt, dass:

- der Fluglotse (*Controller*) die Primäraufgaben *Surveillance*, *Control* und *Routing* übernimmt
- der Pilot bzw. Fahrzeugführer (*Pilot/vehicle driver*) ebenso wie der Fluglotse die Primärfunktion *Control* ausführt sowie zusätzlich die Funktion *Guidance*
- das System keine Funktion übernimmt
- der Einsatz der Sekundärfunktion *Planning* nicht vorgesehen ist.

Gemäß Typen-Level-Matrix (Spalte *Level*) entspricht diese Konstellation einer Implementierung von A-SMGCS-Level I.

Es fällt auf, dass die ICAO jedem Flughafentypen T-j, egal welchen Layouts dieser ist und welches Rollverkehrsaufkommen dort herrscht, einen A-SMGCS-Implementierungslevel zugeordnet hat. Dies bringt die Haltung zum Ausdruck, dass die ICAO aus operationeller Sicht z.B. auch an einem überschaubaren, wenig berollten Flughafen selbst bei uneingeschränkter Sicht<sup>100</sup> eine Implementierung von Level I empfiehlt. Ob dies aus Sicht des Flughafens ökonomisch vorteilhaft ist, bleibt kritisch zu hinterfragen, kann jedoch an dieser Stelle nicht detailliert erörtert werden. Sicherlich trägt die Einführung von Level I jedoch auch an einem solchen Flughafen zu einem Plus an Flugsicherheit bei, da das bisher gültige Prinzip „Sehen und gesehen werden“ um eine umfassende Echtzeit-Rollverkehrslagedarstellung ergänzt wird.<sup>101</sup> Dies macht sich in der vorliegenden Typen-Level-Matrix dadurch bemerkbar, dass für Flughäfen, auf denen Level III oder IV implementiert wird, eine doppelte Redundanz bezüglich der Ausübung der Funktion *Control* vorhanden ist. Bei der Implementierung von Level I oder II hingegen ist diese Redundanz nur einfach gegeben, da sich der Fluglotse und der

<sup>99</sup> s. Kapitel 3

<sup>100</sup> dies entspricht Typ T-1

<sup>101</sup> s. Kapitel 1.2.2



Pilot bzw. Fahrzeugführer die Funktion *Control*, welche hohe Anforderungen bezüglich Problemanalyse und -lösungsfindung stellt, teilen.<sup>102</sup>

Im Hinblick auf die dargestellte Typen-Level-Matrix lässt sich konstatieren, dass mit Zunahme der Level-Ordnungszahl der Automationsgrad und Aufgabenumfang der A-SMGCS-Umgebung zunimmt.<sup>103</sup> Hiermit einher geht eine Entlastung der Fluglotsen, Piloten und Bodenfahrzeugführer. Für *Controller* macht sich das insofern bemerkbar, als dass sie ab Level III keine überwachende Funktion (*Surveillance*) mehr ausüben. Ebenso verhält es sich mit der Funktion *Routing*. Beide werden durch die A-SMGCS-Komponenten übernommen. Level V stellt denjenigen mit dem höchsten Automatisierungsgrad dar und kommt laut ICAO für alle Flughäfen bei häufigem Vorliegen von *Visibility Condition 4* in Betracht. Im Wesentlichen unterscheidet sich Level V von Level IV durch den Einsatz von bordgebundenen anstelle von bodengebundenen Rollführungsassistenzsystemen. Dies soll Fahrzeugführer in die Lage versetzen, auch bei *schlechten Sichtbedingungen* mit Sichtweiten unter 75 m die ihnen zugewiesenen Routen berollen zu können, ohne auf eine entsprechende Außensicht und damit das Erkennen von entfernten Markierungen und Beschilderungen angewiesen zu sein. Zudem werden die Fahrzeugführer zusätzlich entlastet, indem die Primärfunktion *Control* nunmehr nicht mehr von diesen, sondern von den Fluglotsen und dem System vorgenommen wird.<sup>104</sup>

Allgemein lässt sich feststellen, dass die Level I und II insbesondere der Erhöhung der Rollsicherheit dienen, da sie darauf abzielen, die Konfliktwahrscheinlichkeit zu minimieren. Level III und IV hingegen sollen dazu beitragen, die vorhandenen Rollfeldkapazitäten durch die effiziente, computergestützte Planung und Rollwegführung besser auszunutzen. Sie tragen somit vor allem zur Optimierung der Auslastung bei.<sup>105</sup> Level V soll insbesondere dazu dienen, einen sicheren Rollbetrieb auch bei widrigsten Sichtbedingungen mit Sichtweiten unter 75 m zu ermöglichen und stellt somit ebenfalls eine auslastungssteigernde Maßnahme dar, da ohne eine Level-V-Implementierung der Flugbetrieb aufgrund mangelnder Sicht eingestellt werden müsste.

<sup>102</sup> Die *Control*-Unterfunktion „Konfliktmittlung“ (*conflict detection*) wird gemäß Typen-Level-Matrix bei Vorhandensein von Level I auch von der A-SMGCS-Umgebung wahrgenommen.

<sup>103</sup> ICAO Doc 9830, S. B-1, /5/

<sup>104</sup> vgl. Anhang 1

<sup>105</sup> Heyder, S. 6, /22/

## 5.3 APPENDIX C – KOMPONENTENENTWICKLUNG GEMÄß KOMPONENTEN-MATRIX

Unter Zuhilfenahme der in Kapitel 5.2 erläuterten Typen-Level-Matrix gemäß App. B erfolgt in App. C seitens der ICAO die Empfehlung, welche A-SMGCS-Komponenten für welchen Flughafentypen T-j zu implementieren sind, bzw. an welchen Stellen noch Entwicklungsbedarf besteht. Hierzu sind in einer Komponentenmatrix die 36 Flughafentypen über die vier Rollverkehrsfunktionen *Surveillance*, *Routing*, *Guidance* und *Control* aufgetragen. Die besagte Komponentenmatrix ist in Anhang 2 illustriert und soll im Folgenden näher erläutert und kommentiert werden. Hierbei wird so verfahren, dass die Komponentenentwicklung anhand der aufsteigenden Typenordnungszahl j jeweils für die merkmalsauffälligen A-SMGCS-Primärfunktionen erläutert wird. Möglich wäre beispielsweise auch eine Betrachtung der vier einzelnen Primärfunktionen. Dies würde jedoch zu vielen Dopplungen in der Ausführung führen und hätte daher aus Sicht des Autors keinen wissenschaftlichen Mehrwert.

### 5.3.1 KOMPONENTENENTWICKLUNG DER TYPEN T-1 BIS T-4

Für einen Flughafen des Typs T-1 bis T-4 sieht die ICAO keinen Einführungsbedarf bezüglich weiterer A-SMGCS-Komponenten vor. Gemäß Typen-Level-Matrix wird empfohlen, Level I zu implementieren.<sup>106</sup> Die ICAO erachtet die Level-I-System- und Komponentenentwicklung somit als abgeschlossen. Die bei der Funktion *Guidance* zum Einsatz kommenden Komponenten sind insbesondere beleuchtete oder unbeleuchtete farbige Mittelstreifen (*Painted Centre Lines*) sowie Flugplatzkartenmaterial und Rollfeldbeschilderungen (*Aerodrome Chart and Signs*).<sup>107</sup> Insofern wird diese Funktion dem Piloten bzw. Fahrzeugführer zugeordnet. Die Funktion *Routing* übernimmt der Fluglotse. Eine Überwachung (*Surveillance*) des Rollverkehrs wird nicht durchgeführt. Lediglich für Typ T-3 ist als Schnittstelle zur Anflugkontrolle nach Sichtflug- oder Instrumentenflugregeln der Einsatz eines Anflugradars (*Approach Radar*) vorgesehen. Zur Ausübung der Funktion *Control* kommen Haltezeichen (*Holding Position Marking*) sowie wiederum Flugplatzkartenmaterial und Rollfeldbeschilderungen zum Einsatz.<sup>108</sup>

### 5.3.2 KOMPONENTENENTWICKLUNG DER TYPEN T-5 BIS T-7

Die Typen T-5 bis T-7 gleichen in ihrer Komponentenausstattung den zuvor beschriebenen Typen in den Funktionen *Routing* sowie *Guidance*, jedoch erachtet die ICAO bei der Kon-

<sup>106</sup> s. Kapitel 5.2 sowie Anhang 1

<sup>107</sup> vgl. ICAO Doc 9476, Table 2-2, /30/

<sup>108</sup> ebd.

flikterkennung innerhalb der Funktion *Control* eine Weiterentwicklung der Komponenten als wünschenswert. Zudem ist aufgrund der Implementierungsempfehlung für Level II eine Überwachung des Rollverkehrs mittels Primärradartechnik, beispielsweise SMR<sup>109</sup>, vorgesehen.

### 5.3.3 KOMPONENTENENTWICKLUNG DER TYPEN T-8 BIS T-20

Die Typen T-8 bis T-14 wiederum zeichnen sich hauptsächlich dadurch aus, dass die Funktion *Control* nicht nur zur Konfliktermittlung zwischen am Rollverkehr beteiligten Luft- und Bodenfahrzeugen eingesetzt wird, sondern auch der Detektion von unautorisiertem Berollen der Start- und Landebahnen sowie der Rollwege (*Runway / Taxiway Incursion*) dient. Ab Typ T-15 übernehmen die A-SMGCS-Komponenten nicht mehr nur die Detektion von potentiellen Konflikten und unautorisiertem Berollen, sondern generieren auch einen entsprechenden Alarm (*Alert*) und geben eine Handlungsempfehlung (*Resolution*) zur Lösung des bestehenden Konflikts aus. Eine Ausnahme bildet aufgrund seines geringen Rollverkehrsaufkommens der Kategorie *Light* (L) der Typ T-16. Angesichts der Tatsache, dass eine Konfliktermittlung durch das System nur dann Sinn macht, wenn auch ein entsprechender Alarm ausgelöst wird, erscheint die Implementierungsempfehlung der ICAO bezüglich der Funktion *Control* für die Typen T-5 bis T-8, T-10 bis T-14 sowie T-16 nicht zweckdienlich. Insofern besteht an dieser Stelle sicherlich Adaptionbedarf. Zudem ist für diese Typen die zusätzliche Ausgabe einer Handlungsempfehlung durch das System sinnvoll, wenn ein hohes Verkehrsaufkommen der Kategorie *Heavy* (H) vorliegt und nur ein begrenzter Ausweichspielraum vorhanden ist. Dies ist bei den Typen T-6 und T-12 der Fall. Somit lassen sich unbedachte oder hektische Reaktionen zugunsten einer vorgegebenen rationalen Handlungsalternative vermeiden. Jedoch sind auch computergenerierte Handlungsanweisungen vor deren Umsetzung in jedem Fall kritisch zu hinterfragen. Aus diesem Grund konstatiert die ICAO in ICAO Doc 9830, Ziffer 2.3:

„When using A-SMGCS, pilots remain responsible for the safety and control of aircraft.“

Weiterhin heißt es in Ziffer 3.2.2.5:

„Vehicle drivers [...] are always responsible for exercising due care and attention so as to avoid collisions between their vehicles and aircraft and other related hazards.“

---

<sup>109</sup> s. Kapitel 4.2.1

### 5.3.4 KOMPONENTENENTWICKLUNG DER TYPEN T-21 BIS T-27

Betrachtet man die Typen T-21 bis T-27, so stellt man fest, dass die Funktionen *Surveillance* und *Routing* nunmehr vollständig vom System vollzogen werden.<sup>110</sup> Ebenso sind die zur Ausübung der Funktion *Control* nötigen Komponenten implementiert, so dass A-SMGCS auch hier einen wesentlichen Beitrag leistet, die Sicherheit bei der Rollverkehrsführung zu erhöhen und somit beispielsweise Kollisionen zu vermeiden, vor allem bei den für diese Typen vorherrschenden *schlechten Sichtbedingungen* gemäß *Visibility Condition 3*. Diesem Zweck dienen insbesondere die sog. *Runway Guard Lights*. Gemäß DeWiTec /31/ soll deren Installation, welche gemäß ICAO Annex 14, Ziffer 5.3.22.1b verpflichtend für Flughäfen mit Rollverkehrsaufkommen der Kategorie *Heavy (H)*<sup>111</sup> vorgesehen ist, Piloten und Fahrzeugführer von dem unbeabsichtigten bzw. unautorisierten Berollen einer aktiven Start- und Landebahn abhalten. Zudem kommen sog. *Switched Stop Bars* zum Einsatz, welche eine selektive Vorfahrtsteuerung des Rollverkehrs durch Ein- und Ausschalten einer Haltemarkierung ermöglichen.

### 5.3.5 KOMPONENTENENTWICKLUNG DER TYPEN T-28 BIS T-36

Bei widrigen Sichtbedingungen mit Sichtweiten unter 75 m gemäß *Visibility Condition 4* sieht die ICAO für alle Flughäfen eine vollständig ausgerüstete A-SMGCS Umgebung mit größtmöglicher Systemunterstützung vor. Dieser Zustand entspricht in der Typen-Level-Matrix bei bestehendem Level IV einer Implementierungsempfehlung für Level V und umfasst die Typen T-28 bis T-36.<sup>112</sup> Die Rollwegführung (*Guidance*) soll anhand einer erweiterten digitalen Rollverkehrslagedarstellung (*Enhanced Cockpit Display*) erfolgen, so dass zum Rollen keine Außensicht nötig ist. Eine solche Darstellung ist in Kapitel 3.4 in Abbildung 6 gezeigt. Auch das Situationsbewusstsein soll somit verbessert werden.<sup>113</sup> Zudem lässt sich erkennen, dass Flughäfen des Typs T-28 bis T-36 die einzigen sind, für welche die ICAO eine grafische Darstellung gesperrter oder eingeschränkt freigegebener Rollflächen vorsieht. Dies ist insofern der Steigerung der Sicherheit dienlich, als dass gerade bei Sichtbedingungen gemäß *Visibility Condition 4* ein Berollen solcher Flächen zu spät bemerkt werden könnte, was im schlimmsten Fall verheerende Folgen nach sich zieht. Ein Beispiel wäre die Kollision eines Passagierflugzeuges mit einem Baustellenfahrzeug oder einem temporär installierten Kran.

<sup>110</sup> Eine Ausnahme bildet Typ T-22.

<sup>111</sup> s. Kapitel 5.1.2

<sup>112</sup> s. Kapitel 5.2 sowie Anhang 1

<sup>113</sup> s. Kapitel 3.4

### 5.3.6 ALLGEMEIN ABGELEITETE AUSSAGEN BZGL. DER KOMPONENTENENTWICKLUNG

Allgemein lässt sich erkennen, dass mit Abnahme der Sichtweiten gemäß den *Visibility Conditions* sowohl für wenig wie auch viel berollte Flughäfen jeglichen Layouts die Anforderungen an die Komponenten steigen und die Komplexität der betrachteten A-SMGCS-Umgebung zunimmt. Zudem lässt sich konstatieren, dass die Fluglotsen derart entlastet werden, dass insbesondere die Primärfunktion *Routing* mit steigender Typen-Ordnungszahl j von den A-SMGCS-Komponenten (Sys) übernommen wird. Auch die adaptive Mittellinienbefuerung zur Ausübung der Funktion *Guidance* wird zunehmend automatisch durch das System geregelt. Auffallend ist, dass für alle Flughafentypen T-j, unabhängig von der Anzahl und Komplexität der eingesetzten Komponenten, die Flugplatzkarten sowie Rollfeldbeschilderungen unerlässlich sind, um das Situationsbewusstsein (*Situation Awareness*) der Piloten bzw. Fahrzeugführer sowie der Fluglotsen aufrecht zu erhalten. Zudem ist erkennbar, dass die ICAO ab *Visibility Condition 2* für alle Flughäfen eine systemgestützte Routenplanung vorsieht. Eine Ausnahme bilden aufgrund ihres übersichtlichen Rollfeldlayouts der Kategorie *Basic* lediglich die Typen T-10 und T-11 sowie Typ T-13 aufgrund seines geringen Rollverkehrsaufkommens der Kategorie *Light* (L). Außerdem empfiehlt die ICAO für alle Flughäfen – unabhängig von deren Rollfeldlayout und Verkehrsaufkommen – bei Vorliegen von Sichtbedingungen der Kategorie *Visibility Condition 4* den Einsatz einer A-SMGCS-Umgebung des Levels V, um eine Durchführung des Rollverkehrs überhaupt erst zu ermöglichen.<sup>114</sup>

---

<sup>114</sup> s. Kapitel 5.2

## **6 BEISPIELHAFTE ANWENDUNG DER IMPLEMENTIERUNGSKRITERIEN GEMÄß ICAO Doc 9830**

Nachfolgend werden die in Kapitel 5 vorgestellten Kriterien zur Implementierung von A-SMGCS auf real existierende Verkehrsflughäfen angewendet, um anschließend in Kapitel 7 die Sinnhaftigkeit der in ICAO Doc 9830 getätigten Implementierungsempfehlungen analysieren zu können. Hierzu hat sich der Autor für die Flughäfen Frankfurt/Main (EDDF), Hamburg (EDDH), Nürnberg (EDDN) sowie Paderborn/Lippstadt (EDLP) entschieden. Diese Flughäfen werden vorgestellt und gemäß dem Vorgehen in Kapitel 5 jeweils zunächst typisiert, bevor in einem anschließenden Schritt anhand der Typen-Level-Matrix ermittelt werden kann, welchen Implementierungslevel die ICAO für den jeweils betrachteten Flughafen vorsieht. Zuletzt erfolgt dann die Anwendung der Komponentenmatrix insofern, als dass überprüft wird, welche Komponenten und Primärfunktionen die ICAO empfiehlt.

Alle nachfolgend genannten statistischen Daten der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e.V. (ADV) beziehen sich auf das Kalenderjahr 2010.

### **6.1 FLUGHAFEN FRANKFURT/MAIN (EDDF)**

Der Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) ist laut Flughafenverband ADV /33/ mit jährlich 53,0 Millionen beförderten Passagieren und 2,3 Millionen Tonnen umgeschlagener Fracht der größte deutsche Verkehrsflughafen. Aufgrund seines beträchtlichen Angebots an Direktflügen in die bedeutenden globalen Wirtschafts- und Tourismuszentren dient er als internationales Luftfahrt Drehkreuz. Ebenso nimmt er aufgrund seiner geografisch günstigen Lage südlich des Ruhrgebiets eine herausragende regionale wie überregionale Stellung ein und ist nicht zuletzt aufgrund seiner von ihm ausgehenden Synergieeffekte und der sehr guten Verkehrsanbindung ein bedeutender Verkehrsknotenpunkt der Bundesrepublik Deutschland und trägt somit nachhaltig zu dessen Status als international renommierter Wirtschaftsstandort bei. Dies unterstrich auch Frau Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel am 21. Oktober 2011 bei ihrer feierlichen Rede zur Eröffnung einer vierten Piste, nachdem sie in einem Airbus der Flugbereitschaft des Bundesministeriums der Verteidigung als eine der ersten Passagiere auf dieser gelandet war.<sup>115</sup>

---

<sup>115</sup> Merkel, /44/

### 6.1.1 ANWENDUNG DER TYPISIERUNG

Pro Jahr finden am Flughafen Frankfurt/Main insgesamt ca. 464.000 Flugbewegungen statt, welche gewerblichen wie nichtgewerblichen Verkehr beinhalten.<sup>116</sup> Eine Befragung von Frau Pohl der Betreibergesellschaft Fraport AG ergab, dass in der verkehrsreichsten Stunde gemäß Definition aus Kapitel 5.1.2 mehr als 26 Rollbewegungen auf den Runways sowie mehr als 35 Rollbewegungen auf dem Rollfeld stattfinden.<sup>117</sup> Somit ist das Rollverkehrsaufkommen dieses Verkehrsflughafens als *Heavy* (H) zu werten.

Dieselbe Befragung ergab, dass an diesem Flughafen an 29 Tagen Sichtbedingungen unter 500 m gemäß *Runway Visual Range* vorliegen.<sup>118</sup> Bezogen auf die *Visibility Conditions* heißt das, dass hinreichend genau davon ausgegangen werden kann, dass an mehr als 15 Tagen im Jahr die *Visibility Conditions* 3 oder 4 herrschen und somit die Sicht weniger als 400 m beträgt. Diese Annahme lässt sich dadurch stützen, dass der Flughafen Frankfurt/Main laut DFS GmbH eine CAT-III-Zulassung besitzt<sup>119</sup>, was aufgrund der enormen Kosten, welche eine solche Zertifizierung mit sich bringt, ein Indiz vermehrt auftretender *schlechter Sichtbedingungen*<sup>120</sup> darstellt. Dies ist darin begründet, dass eine entsprechende Zulassung von den Flughäfen nur dann angestrebt wird, wenn die durch die vermehrte Auslastung eingefahrenen Gewinne die für Implementierung und Betrieb entstehenden Mehrkosten übersteigen und somit ein ökonomischer Vorteil entsteht.

Die Flugplatzkarte des Flughafens EDDF ist in Anhang 4 dargestellt. Es lässt sich feststellen, dass neben einer Vielzahl an Rollwegen und -gassen jeweils zwei Asphalt- und Betonpisten, also insgesamt vier Start- und Landebahnen, vorhanden sind:

- Betriebsrichtung 07R / 25L: 4000 m x 45 m (Asphalt)
- Betriebsrichtung 07C / 25C: 4000 m x 60 m (Asphalt)
- Betriebsrichtung 18: 4000 m x 45 m (Beton)
- Betriebsrichtung 07L / 25R: 2800 m x 45 m (Beton)

---

<sup>116</sup> ADV, S. 10, /33/

<sup>117</sup> Fraport AG, /34/; s. Anhang 3

<sup>118</sup> Fraport AG, /34/

<sup>119</sup> DFS GmbH, S. 1-9, /35/

<sup>120</sup> s. Kapitel 5.1.1

Da das Vorhandensein von mehr als einer Start- und Landebahn hinreichend zur Kategorisierung des Rollfeldlayouts ist, lässt sich konstatieren, dass der Flughafen Frankfurt/Main gemäß ICAO Doc 9830 App. A als *Complex* (C) einzustufen ist.<sup>121</sup>

Somit repräsentiert der Flughafen Frankfurt/Main im Allgemeinen das Kategorisierungstupel (C)(H) und gemäß der Tabelle 2 im Speziellen aufgrund des hinreichend häufigen Vorliegens von *Visibility Condition 4* den Typen T-36.<sup>122</sup>

### **6.1.2 ANWENDUNG DER TYPEN-LEVEL-MATRIX**

Gemäß der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Typisierung sieht App. B des ICAO Doc 9830 für den Flughafen Frankfurt/Main bei Vorliegen der *Visibility Conditions 1* bis *3* eine Implementierung des Levels IV vor. Für *Visibility Condition 4* wird auf allen Flughäfen die Einführung von Level V empfohlen.<sup>123</sup> Da diese Sichtbedingungen gemäß den Aussagen von Fraport AG /34/ im Sinne von Kapitel 5.1.1 *hinreichend oft* eintreten und sich der CAT-III-Betrieb aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens aus wirtschaftlicher Sicht rentiert wird im Folgenden von einer Level-V-Implementierungsempfehlung für EDDF ausgegangen.

### **6.1.3 ANWENDUNG DER KOMPONENTENMATRIX**

Gemäß der Implementierungsempfehlung für Level V, welche den höchsten Automatisierungsgrad einer A-SMGCS-Umgebung darstellt, sind am Flughafen Frankfurt/Main sämtliche Primär- und Sekundärfunktionen vollständig zu implementieren. Dies äußert sich zum Beispiel darin, dass – wie anhand der Komponentenmatrix in Anhang 2 ersichtlich – sämtliche Matrixeinträge der Typen T-28 bis T-36 als nicht leer definiert sind und dementsprechend der überwiegende Teil des Rollverkehrsmanagements vom System übernommen wird.<sup>124</sup> Insofern bedeutet dies für den Flughafen EDDF, dass für die Ausrüstung von Bodenfahrzeugen mit entsprechender Ortungstechnik sowie die Schaffung einer A-SMGCS-Infrastruktur auf dem Rollfeld enorme Investitionskosten entstehen, welche an dieser Stelle in Ermangelung der hierfür notwendigen Daten und Komponentenpreise nicht beziffert werden können. Diese Aussage lässt sich jedoch dadurch stützen, dass die ICAO gerade im Bereich der Rollverkehrsüberwachung sowie -kontrolle eine Weiter- und Neuentwicklung der bestehenden Komponenten als notwendig erachtet. Dies bedeutet, dass zum einen bestehende Systemkomponenten funktional ergänzt werden müssen, um den operationellen Bedürfnissen an

---

<sup>121</sup> s. Kapitel 5.1.3

<sup>122</sup> s. Kapitel 5.1.4

<sup>123</sup> s. Anhang 1

<sup>124</sup> s. Kapitel 5.3.5



das A-SMGCS-System gerecht zu werden. Dies ist insbesondere bei den vorhandenen Radar- sowie Befeuerungs- und Rollführungssystemen der Fall, welche in die A-SMGCS-Umgebung integriert werden müssen. Hierfür fallen zum Beispiel neben den Entwicklungskosten auch Zertifizierungskosten an. Zum anderen gibt es Komponenten, welche komplett neu angeschafft werden müssen. Dies trifft beispielsweise bei denjenigen Komponenten zu, welche eine Integration der Bodenfahrzeuge in die A-SMGCS-Umgebung ermöglichen.<sup>125</sup>

## 6.2 FLUGHAFEN HAMBURG (EDDH)

Der Flughafen Hamburg (EDDH) – ehemals Hamburg-Fuhlsbüttel – ist der nach Passagieraufkommen und Flugbewegungen fünftgrößte Verkehrsflughafen Deutschlands und wurde 1911 als erster deutscher Verkehrsflughafen eröffnet. Im Jahr 2010 wurden etwa 12,9 Millionen Passagiere sowie 27.300 Tonnen Fracht abgefertigt. Hieraus resultieren ca. 157.200 Gesamtflugbewegungen pro Jahr<sup>126</sup>, welche von etwa 70 Fluggesellschaften durchgeführt werden und den Flughafen zu einem wichtigen internationalen Verkehrsknotenpunkt machen.<sup>127</sup>

### 6.2.1 ANWENDUNG DER TYPISIERUNG

Eine telefonische Befragung<sup>128</sup> mit Herrn Waldmann, Mitarbeiter des Flughafenbetreibers Flughafen Hamburg GmbH, ergab, dass das durchschnittliche stündliche Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrszeit durch mehr als 26 Rollbewegungen auf den Pisten sowie mehr als 35 Rollbewegungen auf dem Rollfeld geprägt ist.<sup>129</sup> Insofern ist die Rollverkehrsdichte gemäß ICAO Doc 9830 App. A ebenso wie am Flughafen EDDF als *Heavy* (H) zu bewerten.

Da der Flughafen EDDH ebenfalls eine CAT-III-Zulassung besitzt, ist analog zum Flughafen Frankfurt/Main davon auszugehen<sup>130</sup>, dass an mehr als 15 Tagen im Jahr *schlechte Sichtbedingungen* vorherrschen und somit alle in Kapitel 5.1.1 aufgeführten *Visibility Conditions* regelmäßig auftreten. Genaue Daten waren weder von der Flughafen Hamburg GmbH noch vom Deutschen Wetterdienst (DWD) in Erfahrung zu bringen.<sup>131</sup>

---

<sup>125</sup> s. Kapitel 4.2.4

<sup>126</sup> ADV, S. 10, /33/

<sup>127</sup> Flughafen Hamburg GmbH, /37/

<sup>128</sup> Bei der telefonischen Befragung von Flughafen Hamburg GmbH, /38/ wurden die selben Fragen gestellt wie bei den in den Anhängen abgedruckten Typisierungsfragebögen der anderen betrachteten Verkehrsflughäfen (vgl. Anhang 3, Anhang 6 und Anhang 8).

<sup>129</sup> Flughafen Hamburg GmbH, /38/

<sup>130</sup> s. Kapitel 6.1.1

<sup>131</sup> s. Kapitel 7.1.1 sowie Anhang 10

Das Rollfeldlayout ist in Anhang 5 dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass zwei Start- und Landebahnen vorhanden sind, welche sich – je nach Bahnrichtung – etwa im ersten bzw. letzten Viertel kreuzen:

- Betriebsrichtung 05 / 23: 3250 m x 46 m (Asphalt)
- Betriebsrichtung 15 / 33: 3666 m x 46 m (Asphalt)

Diese Pistenkreuzung stellt hinsichtlich der A-SMGCS-Kategorisierung aufgrund seiner Relevanz für die sichere Durchführung des Rollverkehrs eine Besonderheit dar, da dessen Existenz keinen Eingang in die Komplexitätsbewertung eines Flughafens findet. Da das Vorhandensein von mehr als einer Start- und Landebahn hinreichend zur Kategorisierung des Rollfeldlayouts ist, lässt sich demnach konstatieren, dass der Flughafen Hamburg ebenso wie der Flughafen Frankfurt/Main gemäß ICAO Doc 9830 App. A als *Complex* (C) einzustufen ist<sup>132</sup>, auch wenn letzter lediglich über ein ungeschnittenes Start- und Landebahnsystem verfügt.

Somit ergibt sich bei der Typisierung des Flughafens Hamburg das Kategorisierungstupel (C)(H), wodurch diesem ebenso wie dem Flughafen Frankfurt/Main aufgrund der Annahme des hinreichend häufigen Auftretens von *Visibility Condition 4* der T-36 zugeordnet werden kann.<sup>133</sup>

### 6.2.2 ANWENDUNG DER TYPEN-LEVEL-MATRIX

Da der Flughafen Hamburg nach der in ICAO Doc 9830 App. A vorgeschlagenen Typisierung den gleichen Typen repräsentiert wie der Flughafen Frankfurt/Main ist bei diesem ebenso von einer Level-V-Implementierung auszugehen.<sup>134</sup>

### 6.2.3 ANWENDUNG DER KOMPONENTENMATRIX

Die Ausführungen bezüglich der Komponentenentwicklung, welche in Kapitel 6.1.3 für den Flughafen Frankfurt/Main getätigt wurden, gelten aufgrund der selben Typen-Level-Zuordnung für den Flughafen Hamburg analog. Laut Empfehlung der ICAO sind alle A-SMGCS-Komponenten vollständig zu implementieren.

---

<sup>132</sup> s. Kapitel 5.1.3

<sup>133</sup> s. Kapitel 5.1.4

<sup>134</sup> s. Kapitel 6.1.2

## 6.3 FLUGHAFEN NÜRNBERG (EDDN)

Der in der Metropolregion Nürnberg gelegene Flughafen EDDN ist ein Hub der Fluggesellschaft Air Berlin und stellt für das Bundesland Bayern neben dem ca. 140 km entfernten Flughafen München einen weiteren internationalen Verkehrsflughafen mit Direktflugverbindungen nach Europa und Nordafrika dar.<sup>135</sup>

### 6.3.1 ANWENDUNG DER TYPISIERUNG

Betrachtet man die Verkehrsstatistik der ADV /33/, so lässt sich erkennen, dass der Flughafen EDDN nach Passagierzahlen auf Platz 10 der deutschen Flughäfen steht. So wurden im Jahr 2010 ca. 4,1 Millionen Passagiere abgefertigt. Zudem wurden etwa 97.400 Tonnen Fracht umgeschlagen, womit im Deutschlandvergleich Platz 7 belegt wird. Insgesamt wurden 2010 ca. 70.800 Flugbewegungen registriert.<sup>136</sup>

Laut Herrn Scharf, Leiter der Abteilung Airport Operations and Safety der Betreibergesellschaft Flughafen Nürnberg GmbH, fanden im Jahr 2010 in der betriebsreichsten Stunde 42 Rollbewegungen auf der Start- und Landebahn sowie auf dem gesamten Rollfeld mehr als 35 Rollbewegungen statt.<sup>137</sup> Daher ist das Rollverkehrsaufkommen des Flughafens Nürnberg gemäß der in Kapitel vorstellten Kategorisierung als *Heavy* (H) zu werten.

Ebenso wie die Flughäfen Frankfurt und Hamburg verfügt der Flughafen Nürnberg über eine CAT-III-Zulassung<sup>138</sup>, was gemäß den Ausführungen in Kapitel 5.1.1 den Rückschluss zulässt, dass hinreichend oft *schlechte Sichtbedingungen* gemäß *Visibility Condition 3* und *4* vorliegen. Gestützt wird diese These dadurch, dass laut Befragung des Flughafen Nürnberg GmbH im Jahr 2010 an circa 13 Tagen Sichtweiten von unter 400 m vorlagen.<sup>139 140</sup> Aufgrund der Ungenauigkeit dieser Angabe sowie bestehender jährlicher Schwankungen kann die Annahme getroffen werden, dass im langjährigen Mittel *hinreichend oft*, sprich mehr als 15 Mal, *schlechte Sichtbedingungen* gemäß *Visibility Condition 3* oder *4* auftreten.

Laut der in Anhang 7 gezeigten Flugplatzkarte ist am Flughafen EDDN im Gegensatz zu den Flughäfen Frankfurt/Main und München nur eine Start- und Landebahn vorhanden. Diese ist wie folgt charakterisiert:

---

<sup>135</sup> Flughafen Nürnberg GmbH, /45/

<sup>136</sup> ADV, S. 10, /33/

<sup>137</sup> Flughafen Nürnberg GmbH, /46/; s. Anhang 6

<sup>138</sup> DFS GmbH, /42/

<sup>139</sup> Diese Auskunft wurde auf Betreiben der Flughafen Nürnberg GmbH, /46/ durch Hr. Dettlef Aßmann vom Deutschen Wetterdienst (DWD) erteilt.

<sup>140</sup> Flughafen Nürnberg GmbH, /46/; s. Anhang 6

- Betriebsrichtung 10 / 28: 2700 m x 45 m (Asphalt)

Diese Kenntnis ist nicht hinreichend für eine Kategorisierung des Rollfeldlayouts. Betrachtet man daher zusätzlich die Rollwegearchitektur, so stellt man fest, dass mehrere Rollwege vorhanden sind, welche alle zu einem zentralen Vorfeld führen. Insofern ist das Rollfeldlayout des Flughafens Nürnberg als *Simple* (S) aufzufassen.

Somit erhält dieser zu typisierende Flughafen das Tupel (S)(H) und repräsentiert aufgrund des hinreichend häufigen Vorliegens von *Visibility Condition 3* oder *4* die Typen T-24 bzw. T-33. Eine eindeutige Typenzuordnung ist aufgrund der unzureichenden Datenlage im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

### 6.3.2 ANWENDUNG DER TYPEN-LEVEL-MATRIX

Bei der Betrachtung des Flughafens Nürnberg ist die in der Typen-Level-Matrix empfohlene Zuordnung schon differenzierter als bei den Flughäfen Frankfurt/Main und Hamburg. Dies äußert sich dadurch, dass gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.1 bei *hinreichend häufigem* Vorliegen von *Visibility Condition 2* oder *3* die Implementierung von Level IV vorgesehen wird.<sup>141</sup> Dies ist insofern interessant, als dass gerade für die unter *Visibility Condition 2* herrschenden vergleichsweise guten Sichtbedingungen der gleiche Automatisierungsgrad gegeben ist wie für Situationen, in denen die Sichtweite weniger als 400 m beträgt. Demnach sieht die ICAO für einen mittelgroßen Verkehrsflughafen des Kategorisierungstupels (S)(H) durch den Einsatz einer fast vollständigen A-SMGCS-Implementierung nicht nur sicherheitsrelevante Aspekte verfolgt, sondern erachtet entsprechende Maßnahmen auch als kapazitätserweiternd im Sinne der von Heyder /22/ getätigten Aussagen.<sup>142</sup> Falls die Sicht *hinreichend oft* den Bedingungen von *Visibility Condition 4* entspricht empfiehlt sich gemäß ICAO Doc 9830 App. B für den Flughafen EDDN die Implementierung von Level V.

### 6.3.3 ANWENDUNG DER KOMPONENTENMATRIX

Die Ausführungen bezüglich der Komponentenentwicklung, welche in Kapitel 6.1.3 für den Flughafen Frankfurt/Main getätigt wurden, gelten aufgrund der selben Typen-Level-Zuordnung für den Flughafen Nürnberg analog, falls davon ausgegangen wird, dass *hinreichend oft Visibility Condition 4* auftritt. Laut Empfehlung der ICAO sind in diesem Fall alle A-SMGCS-Komponenten vollständig zu implementieren. Ansonsten ist bei Vorliegen des Typs T-24 gemäß Komponentenmatrix<sup>143</sup> eine Implementierung der im Kapitel 5.3.4 vorge-

<sup>141</sup> s. Anhang 1

<sup>142</sup> s. Kapitel 5.2

<sup>143</sup> s. Anhang 2

stellten Komponenten vorgesehen. De Facto herrscht jedoch zwischen den beiden für den Flughafen EDDN infrage kommenden Typen T-24 und T-33 bezüglich der Komponentenentwicklung der Unterschied, dass bei Typ T-24 keine erweiterte digitale Rollverkehrslagedarstellung (*Enhanced Cockpit Display*) zu implementieren ist, bei Typ T-33 hingegen schon. Zudem werden gesperrte oder eingeschränkt freigegebene Rollflächen nicht systemseitig verwaltet und dargestellt. In der sonstigen Komponentenausstattung gleichen sich die beiden Typen bezüglich Level IV und V. Insofern müsste bei einer real durchzuführenden Implementierungsentscheidung anhand detaillierter Wetter- und Sichtdaten abgewogen werden, ob eine Level-V-Implementierung bei existierendem Level IV ökonomisch vorteilhaft ist.

## 6.4 FLUGHAFEN PADERBORN/LIPPSTADT (EDLP)

Der nordrheinwestfälische Flughafen EDLP ist zwischen den beiden Städten Paderborn und Lippstadt gelegen und dient vor allem der Durchführung des regionalen Linienluftverkehrs. Er wird von Fluggesellschaften wie Air Berlin und Lufthansa im Rahmen des *Hub-and-Spoke-Systems*<sup>144</sup> als Zubringerflughafen (*Spoke*) für deren Deutschland-Drehkreuze (*Hubs*) genutzt. Es finden jedoch auch Direktflüge zu ausgewählten europäischen und nordafrikanischen Destinationen statt.<sup>145</sup>

### 6.4.1 ANWENDUNG DER TYPISIERUNG

Am Flughafen Paderborn/Lippstadt fanden laut ADV /33/ im Jahr 2010 insgesamt 35.800 Flugbewegungen statt. In diesem Zeitraum wurden ca. 1,0 Millionen Passagiere abgefertigt und 146 Tonnen Fracht umgeschlagen.<sup>146</sup>

Laut Aussage von Herrn Woisch, Mitarbeit der Betreibergesellschaft Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH, fanden im Jahr 2010 zur betriebsreichsten Stunde weniger als 15 Rollbewegungen auf den Pisten sowie weniger als 20 Rollbewegungen auf der gesamten Bewegungsfläche statt.<sup>147</sup> Somit weist dieser Flughafen im Bezug auf die vorgestellten Beispielflughäfen das niedrigste Rollverkehrsaufkommen auf und ist demnach gemäß Kapitel 5.1.2 als *Light* (L) einzustufen.

Der Flughafen Paderborn/Lippstadt verfügt laut DFS lediglich über eine CAT-I-Zulassung<sup>148</sup>, obwohl die *Visibility Conditions* 3 und 4 im Jahr 2010 laut Aussagen von Herrn Woisch zu-

<sup>144</sup> vgl. Klußmann/Malik, S. 135, /26/

<sup>145</sup> Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH, /43/

<sup>146</sup> ADV, S. 10, /33/

<sup>147</sup> Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH, /47/

<sup>148</sup> DFS GmbH, /48/

sammen 18 Mal auftraten.<sup>149</sup> Somit ist ein IFR-Flugbetrieb bei *schlechten Sichtbedingungen* nicht zulässig.

Anhand der in Anhang 9 gezeigten Flugplatzkarte ist ersichtlich, dass der Flughafen EDLP über eine Start- und Landebahn verfügt, welche wie folgt charakterisiert ist:

- Betriebsrichtung 06 / 24: 2180 m x 45 m (Asphalt)

Ebenso ist ein Vorfeld vorhanden, welches durch mehr als einen Rollweg mit der Piste verbunden ist. Daher ist das Rollfeldlayout ebenso wie beim Flughafen Nürnberg mit *Simple* (S) zu kategorisieren.

Alles in allem ergibt sich damit das Kategorisierungstupel (S)(L). Der Flughafen Paderborn/Lippstadt steht somit aufgrund des *hinreichend häufigen* Auftretens von *Visibility Condition* 3 und 4 stellvertretend für den Typen T-31.

#### 6.4.2 ANWENDUNG DER TYPEN-LEVEL-MATRIX

Gemäß ICAO Doc 9830 App. B wird für den Flughafen Paderborn/Lippstadt eine Implementierung von Level V empfohlen, da statistisch gesehen *hinreichend oft schlechte Sichtbedingungen* vorliegen. Insofern ist laut Typen-Level-Matrix<sup>150</sup> eine vollständig ausgestattete A-SMGCS-Umgebung zu implementieren, ebenso wie bei den bereits zuvor vorgestellten Flughäfen EDDF, EDDH und EDDN.

Da der Flughafen Paderborn/Lippstadt gemäß DFS nur über eine CAT-I-Zulassung verfügt<sup>151</sup> ist eine ergänzende Zulassung von CAT II und III aus ökonomischer Sicht anscheinend nicht rentabel, auch wenn deswegen ein Flugbetrieb bei *schlechten Sichtbedingungen* nicht möglich ist. Die hierdurch entstehenden Opportunitätskosten der verringerten Fracht- und Passagierabfertigung sind demnach für die aktuellen Verkehrszahlen offenbar geringer als diejenigen Kosten, welche bei der Implementierung von CAT II und III entstünden. Es lässt sich somit feststellen, dass eine Level-V-Implementierung auch an diesem Flughafen einen kapazitätserweiternden und sicherheitsfördernden Effekt hätte, die ökonomische Vorteilhaftigkeit einer solchen Investitionsmaßnahme jedoch nicht gegeben scheint.

<sup>149</sup> Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH, /47/; s. Anhang 8

<sup>150</sup> s. Anhang 1

<sup>151</sup> DFS GmbH, /48/

### **6.4.3 ANWENDUNG DER KOMPONENTENMATRIX**

Die Ausführungen bezüglich der Komponentenentwicklung, welche in Kapitel 6.1.3 für den Flughafen Frankfurt/Main getätigt wurden, gelten aufgrund der selben Typen-Level-Zuordnung für den Flughafen Paderborn/Lippstadt analog. Laut Empfehlung der ICAO sind alle A-SMGCS-Komponenten vollständig zu implementieren.

## 7 SINNHAFTHIGKEIT DER IMPLEMENTIERUNGSEMPFEHLUNGEN DES ICAO Doc 9830

Im Folgenden soll die Sinnhaftigkeit der in den Appendizes A bis C des ICAO Doc 9830 getätigten Implementierungsempfehlungen analysiert und bewertet werden. Als Grundlage hierfür dienen die Ausführungen aus Kapitel 5 (Empfohlene Implementierungskriterien gemäß ICAO Doc 9830) sowie Kapitel 6 (Beispielhafte Anwendung der Implementierungskriterien gemäß ICAO Doc 9830). Da die besagten Appendizes ein zusammenhängendes, verallgemeinerndes Konzept für die Abgabe einer Implementierungsempfehlung darstellen erfolgt die in Kapitel 7.3 vorgenommene Bewertung nicht für jeden Appendix einzeln, sondern aus ganzheitlicher Sicht. Abschließend werden auf Grundlage der getätigten Betrachtungen in Kapitel 7.4 Kategorisierungskriterien für ein angepasstes Typisierungskonzept vorgeschlagen.

### 7.1 ANALYSE DER IMPLEMENTIERUNGSEMPFEHLUNGEN GEMÄß APP. A

Bei der Anwendung des in ICAO Doc 9830 App. A empfohlenen Typisierungskonzepts wurden Mängel festgestellt, welche nachfolgend anhand der angewandten Kriterien analysiert werden sollen. Der Autor orientiert sich hierbei zur besseren Nachvollziehbarkeit an den in Kapitel 5.1 verwendeten Unterüberschriften.

#### 7.1.1 KRITERIUM 1: SICHTBEDINGUNGEN

Bei der in App. A angewandten Definition der *Visibility Conditions* erfolgt keine Angabe, wie häufig eine solche *Visibility Condition* vorliegen muss, damit ein betrachteter Flughafen als *hinreichend häufig* von dieser betroffen klassifiziert werden kann. Es ist sicherlich nicht zweckdienlich, einen Flughafen beispielsweise bereits bei einmaligem Vorliegen einer *Visibility Condition 4* als *hinreichend häufig* von dieser betroffen zu typisieren. Zudem fehlt eine zeitliche Einschränkung, ab welcher Dauer des Vorliegens einer speziellen Sichtbedingung diese auch statistisch erfasst wird. So stellt beispielsweise ein fünfzehnminütiges Auftreten von *schlechten Sichtbedingungen* infolge von plötzlichem Starkregen keine hinreichend große Zeitspanne dar, um den gesamten betreffenden Tag so zu werten, als ob *Visibility Condition 3* oder *4* vorgelegen hätte. Erst durch Zuhilfenahme der in Kapitel 5.1.1 für die Zwecke dieser Arbeit übernommenen Definition nach EUROCONTROL wird es sinnvoll möglich, eine Aussage darüber zu treffen, bei welchem quantitativen Auftreten der einzelnen *Visibility Conditions* ein Flughafen als *hinreichend oft* von dieser betroffen gilt. Nur so ist nachfolgend



auch eine zweckdienliche Typisierung anhand der in Kapitel 5.1.4 vorgestellten Typisierungsmatrix gemäß ICAO Doc 9830 App. A möglich.

Jedoch ist auch die von EUROCONTROL eingeführte Definition in der Praxis schwerlich anwendbar, da sich bei der in Kapitel 6 vollzogenen beispielhaften Anwendung gezeigt hat, dass die Sichtbedingungen im Allgemeinen nicht tageweise aufgerundet, sondern minuten genau gemessen erfasst werden. Ein Beispiel soll diesen Sachverhalt erläutern: am Flughafen Hamburg lagen nach Aussagen von Fr. von Bargaen (DWD) im Zeitraum von Oktober 2009 bis einschließlich September 2010 etwa 18,33 Stunden lang *schlechte Sichtbedingungen* nach der Definition aus Kapitel 5.1.1 vor.<sup>152</sup> Dies entspricht rechnerisch nicht einmal einem Tag pro Jahr. Dennoch lagen absolut gesehen an mehr als einem Tag in diesem Zeitraum Sichtbedingungen der Kategorie *Visibility Condition 3* oder *4* vor. Aufgrund der von besagter Definition differierenden Datenerfassung war es weder Frau von Bargaen noch dem Autor möglich, eine genaue Aussage bezüglich des Auftretens der einzelnen *Visibility Conditions* zu treffen.

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass bisher eine exakte statistische Auswertung der in App. A festgelegten Sichtweiten nur mittels Heranziehen der RVR möglich ist.<sup>153</sup> Diese Vereinfachung ist für die Bestimmung der Häufigkeit des Vorliegens der *Visibility Conditions 3* und *4* ausreichend, jedoch nicht für die Bestimmung der Häufigkeit des Vorliegens von *Visibility Condition 1* und *2*. Dies liegt darin begründet, dass die Sichtweitengrenzwerte für die Bestimmung der RVR sowie der *Visibility Conditions* nicht dieselben sind, die Flughäfen aber bisher nur statistische Daten für die gemäß RVR relevanten Sichtweiten erheben. Dies lässt sich anhand der Beantwortung von Frage 1 der Fragebögen, welche sich auf die Flughäfen Frankfurt/Main sowie Paderborn/Lippstadt beziehen<sup>154</sup>, nachvollziehen. Insofern ist hier ein Anpassungsbedarf hinsichtlich der Datenerhebung oder der Sichtweitengrenzen von Nöten, um eine einheitliche Grundlage zur Erfassung vergleichbarer statistischer Sichtweitendaten zu gewährleisten.

Anzumerken ist zudem, dass die ICAO in App. A nicht gesondert auf die Sichtverhältnisse von am Rollverkehr partizipierenden Bodenfahrzeugen eingeht, obwohl diese zwecks Schaffung einer möglichst vollständigen Rollverkehrslagedarstellung explizit in das Rollverkehrsmanagement von A-SMGCS-kontrollierten Flughäfen eingebunden werden sollen. Es ist anzunehmen, dass für die von den entsprechenden Fahrzeugführern wahrgenommenen Sichtbedingungen die gleichen Kriterien gelten wie für die Luftfahrzeugführer. Jedoch ist zweifel-

---

<sup>152</sup> Dies belegt der in Anhang 10 befindliche Auszug aus dem Emailverkehr mit Frau von Bargaen (DWD) vom 26./27. Oktober 2011.

<sup>153</sup> s. Kapitel 5.1.1

<sup>154</sup> s. Anhang 3 sowie Anhang 8

haft, ob diese Annahme unter allen Bedingungen Bestand hat, da Luftfahrzeugführer von Verkehrsflugzeugen im Vergleich zu Bodenfahrzeugführern in der Regel eine deutlich erhöhte Sitzposition aufweisen und die Beleuchtung von Verkehrsflugzeugen nicht mit der eines herkömmlichen Bodenfahrzeuges vergleichbar ist.

### 7.1.2 KRITERIUM 2: ROLLVERKEHRSAUFKOMMEN

Bezüglich des Kriteriums *Rollverkehrsaufkommen* ist zu konstatieren, dass die ICAO in App. A nicht näher spezifiziert, welcher Betrachtungszeitraum zur Ermittlung der Betriebsstunde mit dem jeweils höchstem durchschnittlich gemessenem Verkehrsaufkommen zu wählen ist. Betrachtet man exemplarisch die Stunde von 9 bis 10 Uhr an einem beliebigen Flughafen, so wird das durchschnittliche Rollverkehrsaufkommen z.B. in Abhängigkeit des Wochentages sowie bestehender Ferien- und Feiertagsregelungen stark schwanken. Daher ist zur Ermittlung eines aussagekräftigen Durchschnittswertes ein Betrachtungszeitraum von mindestens einem Kalenderjahr sinnvoll:

„The number of movements in the mean busy hour is the arithmetic mean over the year of the number of movements in the daily busiest hour.“

Diese Definition nutzt die ICAO in ihrem Chapter 1 des ICAO Annex 14 (Aerodromes), verweist jedoch in ICAO Doc 9830 App. A nicht darauf.<sup>155</sup>

EUROCONTROL schlägt zudem vor, nicht nur die verkehrsreichste Stunde als Grundlage für die Kategorisierung des Rollverkehrsaufkommens zu Rate zu ziehen. Vielmehr sei es sinnvoll, ebenso die jährlichen Flugbewegungen zu betrachten, da eine Vielzahl an Flughäfen mehr als 30 Flugbewegungen pro Stunde aufweist und somit beim Kategorisierungskonzept der ICAO die direkte Vergleichbarkeit nur eingeschränkt möglich ist.<sup>156</sup> Die hierfür nötigen Schwellenwertbereiche werden wie folgt festgelegt: liegen weniger als 40.000 bis 60.000 Gesamtflugbewegungen<sup>157</sup> pro Jahr vor, so entspricht dies der Kategorie *Light*, wohingegen der Schwellenwertbereich zwischen den Kategorien *Medium* und *Heavy* bei 140.000 bis 160.000 Flugbewegungen pro Jahr angesetzt wird. Diese Werte basieren laut EUROCONTROL auf Erfahrungswerten der ICAO.<sup>158</sup>

Eine diesbezügliche Anpassung des ICAO Doc 9830 App. A erscheint sinnvoll, zumal beispielsweise am Flughafen Nürnberg durchschnittlich 42 Rollbewegungen pro Stunde auf der

<sup>155</sup> ICAO ANNEX 14 – Aerodromes, S. 1-2, /29/

<sup>156</sup> EUROCONTROL, S. 11, /32/

<sup>157</sup> Anm.: Gesamtflugbewegungen: Addition aller Flugbewegungen aus gewerblichem und nichtgewerblichem Verkehr

<sup>158</sup> EUROCONTROL, S. 11, /32/

gesamten Bewegungsfläche registriert werden und somit bereits bei diesem – gemessen an der Anzahl der Gesamtflugbewegungen – vergleichsweise verkehrsarmen Flughafen bezüglich des Rollverkehrsaufkommens die höchste Kategorie *Heavy* (H) vorliegt.<sup>159</sup> Insofern sind die in App. A festgesetzten Kategorisierungsgrenzwerte für das Rollverkehrsaufkommen anzupassen bzw. durch Einführung zusätzlicher Kategorien gemäß dem Vorschlag von EUROCONTROL differenzierter darzustellen.

### 7.1.3 KRITERIUM 3: FLUGHAFENLAYOUT

Auch bei der Kategorisierung des Flughafenlayouts gibt es Verbesserungsbedarf: laut EUROCONTROL erscheint es zweckmäßig, einen Flughafen auch dann als *Complex* (C) zu führen, wenn es viele Rollfeldkreuzungen gibt. Dies wird damit begründet, dass gerade bei *schlechten Sichtbedingungen* eine Fehleinschätzung durch Piloten und Fahrzeugführer noch wahrscheinlicher wird.<sup>160</sup> So erscheint es logisch, dass jede Kreuzung dazu beiträgt, die Komplexität der Rollverkehrssituation zu erhöhen. Insofern besteht hier seitens der ICAO ein Bedarf zur weiteren Differenzierung der Kategorien *Simple* (S) und *Complex* (C). Ein Beispiel stellt der Flughafen Hamburg dar, dessen Layout nicht nur durch viele Rollfeldkreuzungen, sondern insbesondere durch ein Pistenkreuz charakterisiert ist.<sup>161</sup> Dieser Flughafen wird ebenso wie beispielsweise der Flughafen Frankfurt/Main als *Complex* (C) eingestuft, bedarf aufgrund jener Pistenkreuzung bei der Durchführung des Rollverkehrsmanagements sowie der Implementierung von A-SMGCS jedoch sicherlich mehr Sorgfalt und Voraussicht. Dies liegt darin begründet, dass an einem Verkehrsknotenpunkt – nichts anderes als einen solchen stellt eine Pistenkreuzung dar – immer eine Knotenpunktachse – in diesem Fall also eine Piste – direkt vom Verkehrsaufkommen der jeweils anderen beeinflusst wird. Somit ist die Komplexität der vorliegenden Rollverkehrssituation an einem Flughafen mit Rollfeld- oder Pistenkreuzungen in jedem Fall höher einzustufen als diejenige eines Flughafens ohne entsprechende Kreuzungen.

Aufgrund der oben getätigten Feststellung lässt sich die Aussage treffen, dass auch das in ICAO Doc 9830 App. A eingeführte Kriterium *Flughafenlayout* der Nachbesserung bedarf.

### 7.1.4 TYPISIERUNGSTUPEL

Die vorangehend erwähnten Mängel des ICAO Doc 9830 App. A haben in ihrer Summe zur Folge, dass das bei strikter Auslegung desselbigen jeder Flughafen, an dem einmal *Visibility*

<sup>159</sup> s. Kapitel 6.3.1

<sup>160</sup> EUROCONTROL, S. 12, /32/

<sup>161</sup> s. Kapitel 6.2.1 sowie Anhang 5

*Condition 4* auftritt, so einzustufen ist, als ob dieser dauerhaft von *schlechten Sichtbedingungen* betroffen wäre.<sup>162</sup> Dies hat zur direkten Konsequenz, dass solchen Flughäfen gemäß der in Kapitel 5.1.4 vorgestellten Typisierungsmatrix<sup>163</sup> nur die in der letzten Spalte aufgelisteten Typen, welche *Visibility Condition 4* repräsentieren, zugeordnet werden können und somit die Typisierung insgesamt fehlerhaft ist. Insofern besteht an dieser Stelle in jedem Fall Handlungsbedarf, um zukünftig eine differenzierte, ausgewogene und zweckdienliche Typisierung von Verkehrsflughäfen zum Zwecke der Abgabe einer aussagekräftigen A-SMGCS-Implementierungsempfehlung vornehmen zu können.

## **7.2 ANALYSE DER IMPLEMENTIERUNGSEMPFEHLUNGEN GEMÄß APP. B UND C**

Aufgrund der Mängel des ICAO Doc 9830 App. A lässt sich eine wissenschaftlich fundierte Analyse der Appendizes B und C im Rahmen der in dieser Arbeit getätigten Betrachtungen nicht durchführen. Somit kann über die Sinnhaftigkeit der einzeln für sich genommenen Appendizes B und C an dieser Stelle keine Aussage getroffen werden.

Dies liegt darin begründet, dass die in App. A vorgenommene, mangelhafte Typisierung in systemtechnischen Sinne als Input für die in App. B und C erläuterten Konzepte dient. Wendet man die Kriterien des App. A dennoch konsequent auf die Appendizes B und C an, so stellt man Bezug nehmend auf die Kapitel 5.2, 7.1.1 sowie 7.1.4 fest, dass für jeden Flughafen bereits bei einmaligem Auftreten von *Visibility Condition 4* eine Implementierung gemäß Level V vorgesehen ist. Dies wiederum resultiert darin, dass gemäß den Ausführungen in Kapitel 5.3 für all jene Flughäfen – unabhängig von deren Typisierung – die volle Bandbreite der in App. C genannten A-SMGCS-Komponenten zu implementieren wäre. Das ist jedoch, wie beispielsweise das Beispiel Paderborn/Lippstadt zeigt<sup>164</sup>, selbst bei vermehrtem Auftreten von *Visibility Condition 4* in der Praxis sicherlich nicht für jeden Flughafen ökonomisch vorteilhaft und stellt somit ein Indiz für die fehlende Sinnhaftigkeit des in den Appendizes A bis C vertretenen Gesamtkonzepts dar.

## **7.3 BEWERTUNG DER IMPLEMENTIERUNGSEMPFEHLUNGEN**

Das ganzheitliche Konzept, welches in ICAO Doc 9830 zwecks Abgabe einer allgemeinen A-SMGCS-Implementierungsempfehlung verfolgt, hat sich bei der Anwendung desselbigen

---

<sup>162</sup> s. Kapitel 7.1.1

<sup>163</sup> s. Tabelle 2

<sup>164</sup> s. Kapitel 6.4.2

als nicht differenziert genug herausgestellt. Die in Kapitel 7.1 beschriebenen Mängel des App. A führen in direkter Konsequenz dazu, dass die konsekutiven Appendizes B und C im Sinne der Abgabe einer differenzierten Implementierungsempfehlung für A-SMGCS-Umgebungen unbrauchbar sind. Dies liegt vor allem in der unzureichenden Definition der *Visibility Conditions* begründet. Jedoch empfiehlt sich nicht auch zuletzt aufgrund der anderen angeführten Mängel eine umfassende Überarbeitung des gesamten App. A, da die hieraus abgeleiteten Implementierungsempfehlungen angesichts der hohen Investitionskosten für eine A-SMGCS-Implementierung insgesamt als unzureichend zu bewerten sind.

Bezüglich der Sinnhaftigkeit der einzelnen Appendizes B und C lässt sich aufgrund des in Kapitel 7.2 beschriebenen Sachverhalts keine verlässliche Aussage treffen. Aus diesem Grund erfolgt an dieser Stelle auch keine Einzelbewertung dieser. Betrachtet man jedoch die Gesamtheit aller drei Appendizes, so lässt sich konstatieren, dass die hiermit verfolgte Absicht, ein allgemeines, ganzheitliches Konzept für die Abgabe einer sinnvollen A-SMGCS-Implementierungsempfehlung zur Verfügung zu stellen, gescheitert ist. Daher wird im nachfolgenden Kapitel 7.4 ein Vorschlag für ein neues Typisierungskonzept vorgestellt, welches die in ICAO Doc 9830 App. A auftretenden, erörterten Defizite kompensieren soll.

## **7.4 VORSCHLAG EINES VERBESSERTEN TYPISIERUNGSKONZEPTS FÜR APP. A**

Aufgrund der in dieser Arbeit getätigten Betrachtungen lässt sich ein Vorschlag für eine verbessertes Typisierungskonzept ableiten, welches nach eingehender Prüfung und weiterer Optimierung zukünftig anstelle des bisher in ICAO Doc 9830 App. A vertretenen Verfahrens Anwendung finden könnte. Dieses Konzept, welches aufgrund des begrenzten zeitlichen wie inhaltlichen Umfangs der vorliegenden Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, soll im Folgenden vorgestellt werden und als gedanklicher Ansatz zu weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen und inhaltlichen Optimierungen dienen.

Zur besseren Vergleichbarkeit mit dem alten Typisierungskonzept erfolgt die Beschreibung der neu entwickelten Kriterien in direkter Analogie zu der des alten Konzepts. Dieses wurde in Kapitel 5.1 beschrieben. Zur Erläuterung sei darauf verwiesen, dass in diesem Kapitel neue oder angepasste Kriterien durch einen Unterstrich ausgewiesen sind. Zuvor bestehende, nicht angepasste Kriterien hingegen sind in normalem Fließtext geschrieben. Somit ist auf den ersten Blick erkenntlich, welche Änderungen bezüglich des bestehenden Typisierungskonzepts gemäß App. A vorgeschlagen werden.<sup>165</sup>

---

<sup>165</sup> Diese Übereinkunft findet in Kapitel 7.4.1 keine Anwendung, da der hierin enthaltene Vorschlag zur Anpassung der Kategorisierung gänzlich vom alten Typisierungskonzept gemäß App. A abweicht.

### 7.4.1 KRITERIUM 1: SICHTBEDINGUNGEN

Das Kriterium *Sichtbedingungen* hat sich in den vorangegangenen Betrachtungen als das Kritischste herausgestellt.<sup>166</sup> Dies liegt darin begründet, dass eine Verknüpfung der RVR mit den in App. A beschriebenen *Visibility Conditions* nicht gegeben ist. Somit ist eine effektive operationelle Handhabbarkeit nicht gewährleistet. Insofern erscheint es zweckdienlich, anstelle der *Visibility Conditions* die für die jeweiligen CAT-Betriebsstufen geltenden RVR-Sichtweiten zur Kategorisierung heranzuziehen, wie sie in ICAO Annex 10 Punkt 2.2.1 definiert sind<sup>167</sup>:

**CAT I:** RVR beträgt *mehr als* 550 m.

**CAT II:** RVR beträgt *zwischen* 350 m und 550 m.

**CAT III A:** RVR beträgt *zwischen* 200 m und 350 m.

**CAT III B:** RVR beträgt *zwischen* 50 m und 200 m.

**CAT III C:** RVR beträgt *weniger als* 50 m.

Zudem gibt es bezüglich der allgemeinen Erfassung des quantitativen Auftretens der einzelnen Sichtbedingungen noch Adaptions- bzw. Harmonisierungsbedarf. Diese Betrachtung ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und bedarf eingehender, zusätzlicher Untersuchungen.

### 7.4.2 KRITERIUM 2: ROLLVERKEHRSAUFGKOMMEN

Bezüglich des Kriteriums *Rollverkehrsaufkommen* empfiehlt sich eine Kategorisierung, welche nicht nur die Betriebsstunde mit dem jeweils höchstem durchschnittlich gemessenem Verkehrsaufkommen berücksichtigt, sondern ebenso die jährlichen Gesamtflugbewegungen.<sup>168</sup> In Anlehnung an die Ausführungen von EUROCONTROL /32/ ergeben sich unter Berücksichtigung der in App. A bereits existierenden Kriterien folgende neue Kategorien<sup>169</sup>:

**Light (L):** maximal 15 erfasste Rollfeldbewegungen pro Start- und Landebahn bzw. weniger als 20 Rollbewegungen auf dem gesamten Rollfeld **oder** weniger als 50.000 Gesamtflugbewegungen pro Jahr.

<sup>166</sup> s. Kapitel 7.1.1

<sup>167</sup> ICAO Annex 10, ATT C-2, /20/

<sup>168</sup> s. Kapitel 7.1.2

<sup>169</sup> EUROCONTROL, S. 12, /32/

**Medium (M):** zwischen 16 und 25 erfasste Rollfeldbewegungen pro Start- und Landebahn bzw. zwischen 20 und 35 Rollbewegungen auf dem gesamten Rollfeld **oder** zwischen 50.000 und 150.000 Gesamtflugbewegungen pro Jahr.

**Heavy (H):** mindestens 26 erfasste Rollfeldbewegungen pro Start- und Landebahn bzw. mehr als 35 Rollbewegungen auf dem gesamten Rollfeld **oder** mehr als 150.000 Gesamtflugbewegungen pro Jahr.

### 7.4.3 KRITERIUM 3: FLUGHAFENLAYOUT

Für das Kriterium *Flughafenlayout* ist, wie in Kapitel 7.1.3 ausgeführt, eine weitere Differenzierung der Kategorien *Simple* (S) sowie *Complex* (C) nötig, um insbesondere das erhöhte Gefährdungspotential, welches bezüglich der Rollverkehrsführung im Bereich von Rollfeld- bzw. Pistenkreuzungen ausgeht, zu berücksichtigen. Daher empfiehlt sich eine Einführung der zusätzlichen Kategorien *Simple Plus* (S+) sowie *Complex Plus* (C+). Hierbei steht das *Plus* stellvertretend für die Existenz mindestens einer Rollfeld- oder Pistenkreuzung. Unter Bezugnahme auf die Vorschläge von EUROCONTROL /32/ ergeben sich unter teilweiser Berücksichtigung der in App. A bereits existierenden Kriterien folgende neue Kategorien<sup>170</sup>:

**Basic (B):** Flughäfen mit *einer* Start- und Landebahn sowie *einem* Vorfeld. Beide sind durch *einen* Rollweg miteinander verbunden.

**Simple (S):** Flughäfen mit *einer* Start- und Landebahn sowie *einem* Vorfeld. Beide sind durch *mehr als einen* Rollweg miteinander verbunden. Es sind *keine* Rollfeldkreuzungen vorhanden.

**Simple Plus (S+):** Flughäfen mit *einer* Start- und Landebahn sowie *einem* Vorfeld. Beide sind durch *mehr als einen* Rollweg miteinander verbunden. Es ist *mindestens eine* Rollfeldkreuzung vorhanden.

**Complex (C):** Flughäfen mit *mehr als einer* Start- und Landebahn sowie *mindestens einem* Vorfeld. Alle sind durch *mehrere* Rollwege miteinander verbunden. Es sind *keine* Rollfeld- oder Pistenkreuzungen vorhanden.

**Complex Plus (C+):** Flughäfen mit *mehr als einer* Start- und Landebahn sowie *mindestens einem* Vorfeld. Alle sind durch *mehrere* Rollwege miteinander verbunden. Es ist *mindestens eine* Rollfeld- oder Pistenkreuzung vorhanden.

<sup>170</sup> EUROCONTROL, S. 11, /32/

#### 7.4.4 TYPISIERUNGSTUPEL

Aufgrund der in den Kapiteln 7.4.1 bis 7.4.3 aufgezeigten Vorschläge ergibt sich in Analogie zu der in Kapitel 5.1.4 vorgestellten Typisierungsmatrix gemäß App. A nunmehr folgende Matrix mit 75 Typisierungstupeln, welche in Tabelle 3 dargestellt ist:

Visibility Condition	CAT I	CAT II	CAT III A	CAT III B	CAT III C
<b>Aerodrome Type</b>	T-1: (B)(L)	T-16: (B)(L)	T-31: (B)(L)	T-46: (B)(L)	T-61: (B)(L)
	T-2: (B)(M)	T-17: (B)(M)	T-32: (B)(M)	T-47: (B)(M)	T-62: (B)(M)
	T-3: (B)(H)	T-18: (B)(H)	T-33: (B)(H)	T-48: (B)(H)	T-63: (B)(H)
	T-4: (S)(L)	T-19: (S)(L)	T-34: (S)(L)	T-49: (S)(L)	T-64: (S)(L)
	T-5: (S)(M)	T-20: (S)(M)	T-35: (S)(M)	T-50: (S)(M)	T-65: (S)(M)
	T-6: (S)(H)	T-21: (S)(H)	T-36: (S)(H)	T-51: (S)(H)	T-66: (S)(H)
	T-7: (S+)(L)	T-22: (S+)(L)	T-37: (S+)(L)	T-52: (S+)(L)	T-67: (S+)(L)
	T-8: (S+)(M)	T-23: (S+)(M)	T-38: (S+)(M)	T-53: (S+)(M)	T-68: (S+)(M)
	T-9: (S+)(H)	T-24: (S+)(H)	T-39: (S+)(H)	T-54: (S+)(H)	T-69: (S+)(H)
	T-10: (C)(L)	T-25: (C)(L)	T-40: (C)(L)	T-55: (C)(L)	T-70: (C)(L)
	T-11: (C)(M)	T-26: (C)(M)	T-41: (C)(M)	T-56: (C)(M)	T-71: (C)(M)
	T-12: (C)(H)	T-27: (C)(H)	T-42: (C)(H)	T-57: (C)(H)	T-72: (C)(H)
	T-13: (C+)(L)	T-28: (C+)(L)	T-43: (C+)(L)	T-58: (C+)(L)	T-73: (C+)(L)
	T-14: (C+)(M)	T-29: (C+)(M)	T-44: (C+)(M)	T-59: (C+)(M)	T-74: (C+)(M)
	T-15: (C+)(H)	T-30: (C+)(H)	T-45: (C+)(H)	T-60: (C+)(H)	T-75: (C+)(H)

**Tabelle 3: Vorschlag für eine differenziertere Typisierungsmatrix gemäß App. A**

Diese 15x5-Matrix weist mehr Abstufungen auf als die von der ICAO definierte und beinhaltet alle Anpassungen, welche aufgrund der in Kapitel 7.1 festgestellten Defizite vorgeschlagen wurden. Insofern erscheint sie geeignet, um eine differenzierte Typisierung bei Abgabe einer Implementierungsempfehlung für A-SMGCS-Umgebungen vorzunehmen. Ob dies jedoch zutrifft und auch in der Umsetzung praktikabel ist bleibt zu validieren. Ein Einpassung in das verbleibende Implementierungskonzept gemäß den Appendizes B und C des ICAO Doc 9830 steht ebenso aus.



## 8 FAZIT

Ausgehend von den Empfehlungen, welche durch die International Civil Aviation Organization in ICAO Doc 9830 zwecks Implementierung von A-SMGCS-Umgebungen veröffentlicht wurden, ist im Rahmen dieser Arbeit untersucht worden, inwiefern die hierin entwickelten Kriterien in ihrer Anwendung auf real existierende Verkehrsflughäfen sinnvoll und zweckdienlich sind. Es galt, anhand einer Auswahl geeigneter mitteleuropäischer Verkehrsflughäfen das in den Appendizes A bis C des ICAO Doc 9830 vorgestellte ganzheitliche Konzept zur Abgabe einer Implementierungsempfehlung zu analysieren und zu bewerten. Die beispielhafte Anwendung wurde anhand der Verkehrsflughäfen Frankfurt/Main (EDDF), Hamburg (EDDH), Nürnberg (EDDN) sowie Paderborn/Lippstadt (EDLP) vollzogen und die hierzu notwendigen Rollverkehrs-, Flughafenlayout- sowie Sichtweitendaten erhoben bzw. zusammengetragen. Daraufhin erfolgte die Anwendung der Kriterien auf die beispielhaft ausgewählten Flughäfen sowie in einem finalen Schritt die Evaluation ebenjener. Abschließend wurde eine Empfehlung für ein angepasstes Typisierungskonzept ausgesprochen.

Als Ergebnis besagter Evaluation kann festgehalten werden, dass das von der ICAO vertretene allgemeine Konzept zur Abgabe einer A-SMGCS-Implementierungsempfehlung als nicht zweckdienlich befunden wurde. So hat die Analyse der Appendizes A bis C des ICAO Doc 9830 gezeigt, dass insbesondere Appendix A zum einen Defizite aufweist und zum anderen die entwickelten Kriterien für eine Anwendung bei ausstehenden Implementierungsentscheidungen nicht differenziert genug sind. Dieser Umstand wirkt sich aufgrund des konsekutiven Charakters des in den Appendizes A bis C vertretenen Gesamtkonzepts direkt und verfälschend auf die in den Appendizes B und C getätigten Implementierungsempfehlungen aus. Dies hat zur Folge, dass die Appendizes B und C in ihrer Einbettung ins Gesamtkonzept ebenfalls als nicht zweckdienlich erachtet werden müssen. Eine Untersuchung der Sinnhaftigkeit der separat betrachteten Appendizes B und C war im Rahmen dieser Arbeit aufgrund des fehlerhaften Outputs des in Appendix A vertretenen Typisierungskonzepts nicht möglich. Es konnte jedoch aufgrund von an den oben genannten Flughäfen durchgeführten Befragungen weiterhin gezeigt werden, dass insbesondere die in Appendix A erläuterten Kriterien zur Kategorisierung der vorliegenden Sichtweiten in ihrer derzeitigen Form operational nicht sinnvoll anwendbar sind, da allgemeingültige Standards zur hierfür benötigten Datenerhebung und -verarbeitung fehlen. Insofern empfiehlt sich eine komplette Überarbeitung des Appendix A sowie die Entwicklung einer neuen, differenzierteren Typisierungsmatrix. Eine Analyse und Bewertung der konsekutiven Appendizes B und C im Rahmen einer weiterfüh-

renden wissenschaftlichen Betrachtung ist erst dann sinnvoll möglich, wenn Appendix A einen entsprechend differenzierten Output liefert.

## 9 AUSBLICK

Die Aufgabenstellung, welche der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt, war sehr spezifisch. Es galt, die von der ICAO in ICAO Doc 9830 getätigten Implementierungsempfehlungen anhand einer geeigneten Anzahl mitteleuropäischer Flughäfen zu evaluieren. Für künftige Untersuchungen ist jedoch auch die Betrachtung anderer Regionen vorzusehen, da hier grundsätzlich andere klimatische Bedingungen herrschen, welche sich direkt auf die Sichtbedingungen auswirken. Zudem erfolgten die in dieser Arbeit getätigten Betrachtung aufgrund des begrenzten zeitlichen Umfangs sowie Problemen bei der Datenerhebung lediglich anhand von vier ausgewählten Verkehrsflughäfen, welche alle in Deutschland lagen. Sicherlich würde eine größere Menge betrachteter Flughäfen aus weiteren Ländern zu einem aus statistischer Sicht verlässlicheren Ergebnis führen. Ebenso ist ohne weitere Untersuchungen nicht auszuschließen, dass eine Anpassung der Rahmenbedingungen bezüglich der Auswahl der Untersuchungsobjekte gänzlich andere Resultate zur Folge hätte. Selbiges gilt für die angewandten Methoden. Beispielsweise wäre es denkbar, anstelle der Datenerhebung per Fragebogen eigene Daten zu erheben, um somit die Verlässlichkeit der hieraus abgeleiteten Aussagen weiter zu steigern.

Allgemein lässt sich sagen, dass eine sinnvoll an die individuellen Bedürfnisse eines Flughafens angepasste A-SMGCS-Umgebung einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Sicherheit und der Kapazität bezüglich des an Verkehrsflughäfen durchgeführten Rollverkehrs leisten kann. Dies trifft insbesondere bei Vorliegen *schlechter Sichtbedingungen* sowie starken Rollverkehrsaufkommens an Flughäfen mit komplexer Rollwegearchitektur zu. Jedoch ist eine entsprechende Implementierung auch immer unter finanziellen Aspekten zu betrachten. Die umfassende Anschaffung und Installation aller für vollständig ausgebildete A-SMGCS-Umgebungen benötigten Komponenten ist – abweichend von den aus den Appendizes A bis C resultierenden Empfehlungen bei Vorliegen von *schlechten Sichtbedingungen* – sicherlich nicht an jedem Verkehrsflughafen notwendig, geschweige denn im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse ökonomisch sinnvoll. Die Vorteilhaftigkeit, die mit der Steigerung des Rollverkehrsaufkommens und der Sicherheit erzielt werden kann, ist den Kosten gegenüberzustellen, welche bei Nichtdurchführung entsprechender Investitionsmaßnahmen auftreten. Ein entsprechender Ansatz hierzu ist in Chapter 5.3 des ICAO Doc 9830 veröffentlicht und bedarf hinsichtlich seiner Reliabilität, Anwendbarkeit sowie Aussagekräftigkeit weiterer Analyse.

Ebenso befasst sich die ICAO in selbigem Dokument in Chapter 5.5 mit dem sog. *Safety Assessment*, also der Risiko- und Gefahreneinschätzung bei Ausfall einzelner Komponenten oder des Gesamtsystems. Auch dieses Konzept gilt es im Rahmen einer Evaluation weitergehenden wissenschaftlichen Untersuchungen zu unterziehen, da ein A-SMGCS-Systemausfall beispielsweise bei Zustandekommen einer Kollision zweier rollender Verkehrsflugzeuge verheerende juristische wie monetäre Folgen nach sich ziehen kann.

## QUELLENVERZEICHNIS

- /1/ DFS Deutsche Flugsicherung GmbH: MATNET Werkstattgespräch vom 22. Januar 2009. Berlin 2009. Zugriff am 1. Oktober 2011 via [http://www.berlin-airport.de/DE/BBI/Projekt\\_Modern\\_Airport/dokumente/6Ortung\\_auf\\_dem\\_Vorfeld20109/03\\_DFS\\_Zimmermann.pdf](http://www.berlin-airport.de/DE/BBI/Projekt_Modern_Airport/dokumente/6Ortung_auf_dem_Vorfeld20109/03_DFS_Zimmermann.pdf)
- /2/ Airbus Industries: Airbus Global Market Forecast 2010-2029. Toulouse 2009. Zugriff am 1. Oktober 2011 via [http://www.airbus.com/company/market/gmf2010/?elD=dam\\_frontend\\_push&docID=14868](http://www.airbus.com/company/market/gmf2010/?elD=dam_frontend_push&docID=14868)
- /3/ Boeing Company: Current Market Outlook 2010-2029. Seattle 2010. Zugriff am 1. Oktober 2011 via [http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing\\_Current\\_Market\\_Outlook\\_2010\\_to\\_2029.pdf](http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing_Current_Market_Outlook_2010_to_2029.pdf)
- /4/ EUROCONTROL: Single European Sky – For a performant air traffic system in Europe. Brüssel 2010. Zugriff am 1. Oktober 2011 via <http://www.eurocontrol.int/dossiers/single-european-sky>
- /5/ ICAO: ICAO Doc 9830 – Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual. Erste Ausgabe. Montreal 2004
- /6/ Busacker, Torsten: Steigerung der Flughafen-Kapazität durch Modellierung und Optimierung von Flughafen-Boden-Rollverkehr – Ein Beitrag zu einem künftigen Rollführungssystem (A-SMGCS). Dissertationsschrift an der Technische Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt. Berlin 2005: Deutsche Nationalbibliothek
- /7/ DLR: A-SMGCS – Rollführung an Flughäfen. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung. Braunschweig 2011. Zugriff am 2. Oktober 2011 via <http://www.dlr.de/tm/Portaldata/43/Resources/dokumente/messtechnik/A-SMGCS.pdf>
- /8/ Learmount, David: Pilot mistakes blamed for most runway incursions. In: Flight International vom 17. Februar 2004, Nummer 165/4921. Sutton (UK) 2004: Reed Business Information
- /9/ DLR: A-SMGCS – Rollführung am Airport Hamburg. Illustration. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung. Braunschweig 2011. Zugriff am 3. Oktober 2011 via [http://www.dlr.de/portaldata/1/Resources/portal\\_news/newsarchiv2008\\_1/rollfuehrunghh.jpg](http://www.dlr.de/portaldata/1/Resources/portal_news/newsarchiv2008_1/rollfuehrunghh.jpg)
- /10/ DLR: A-SMGCS – Experimental System in BS. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung. Braunschweig 2011. Zugriff am 3. Oktober 2011 via [http://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1141/2481\\_read-4241/](http://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1141/2481_read-4241/)
- /11/ Detlefsen, Wolfgang: Sicherung des Rollverkehrs auf Flughäfen durch Mode S Sekundärradartechnik. Dissertationsschrift an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Fakultät für Maschinenbau. Braunschweig 1992

- 
- /12/ DLR: Spatenstich am Hamburger Flughafen für die Bodenverkehrskontrolle der Zukunft. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung. Braunschweig 2008. Zugriff am 3. Oktober 2011 via [http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-1/86\\_read-11979/](http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-1/86_read-11979/)
- /13/ EUROCONTROL: Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS). Brüssel 2010. Zugriff am 4. Oktober 2011 via [http://www.eurocontrol.int/airports/public/standard\\_page/APR2\\_Projects\\_ASMGCS\\_2.html](http://www.eurocontrol.int/airports/public/standard_page/APR2_Projects_ASMGCS_2.html)
- /14/ Nuhn, Helmut und Hesse, Markus: Verkehrsgeographie. Paderborn / München 2006: Schöningh
- /15/ Hüttig, Gerhard und Otzik, Martin: Luftverkehrswirtschaft. Vorlesungsskript der Technischen Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr. Berlin 2009
- /16/ Wiora, Georg: Prinzip der Sonar- oder Radarabstandsmessung. Illustration. Unbekannter Ort 2005. Zugriff am 4. Oktober 2011 via [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/Sonar\\_Principle\\_DE.svg?uselang=de](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/Sonar_Principle_DE.svg?uselang=de)
- /17/ Lüken, Thomas: Multilateration zur Erfassung und Vorhersage von Flugzeugbewegungen im Flughafenbereich. Dissertationsschrift an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften. Braunschweig 2006: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- /18/ Fricke, Manfred und Hüttig, Gerhard: Flugsicherung. Vorlesungsskript der Technischen Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr. Berlin 2005
- /19/ Easat Antennas Ltd: Primary Radar Systems. Illustration. Stoke-on-Trent (UK) 2010. Zugriff am 5. Oktober 2011 via <http://www.easat.com/systems/air-applications/primary>
- /20/ ICAO: ICAO Annex 10 to the Convention of International Civil Aviation – Aeronautical Telecommunications. Volume I-IV. Montreal 1995
- /21/ Easat Antennas Ltd: Primary Radar Systems. Illustration. Stoke-on-Trent (UK) 2010. Zugriff am 5. Oktober 2011 via <http://www.easat.com/systems/air-applications/surface>
- /22/ Heyder, Daniel: Untersuchung der Anwendbarkeit von Magnetfeldsensorik in Aufgaben der Rollverkehrsführung auf Großflughäfen. Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr. Berlin 2007
- /23/ Mensen, Heinrich: Moderne Flugsicherung – Organisation, Verfahren, Technik. Berlin 2004: Springer Verlag
-

- 
- /24/ Duden: Duden online – Sicherheit. Wörterbuch. Mannheim 2011: Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag. Zugriff am 4. Oktober 2011 via <http://www.duden.de/rechtschreibung/Sicherheit>
- /25/ Glaser, O. et al.: Surface Movement Guidance and Control System. Deutsche Flugsicherung GmbH. DFS-Programmplanung, Dokumente 1-3. Offenbach, 1993
- /26/ Klußmann, Niels und Malik, Arnim: Lexikon der Luftfahrt. Berlin 2007: Springer Verlag
- /27/ Astheimer, Thorsten: Ground Movement Safety Systems and Procedures – an Overview. Airport Safety Cluster Meeting. Frankfurt a.M. 2007: Fraport AG. Zugriff am 6. Oktober 2011 via: [http://www.ismael-project.net/fileadmin/ismael/public\\_ASC\\_Workshop\\_Vienna/ASMGCS\\_Fraport\\_ASC\\_Workshop\\_190107\\_01.pdf](http://www.ismael-project.net/fileadmin/ismael/public_ASC_Workshop_Vienna/ASMGCS_Fraport_ASC_Workshop_190107_01.pdf)
- /28/ EUROCONTROL: A-SMGCS Project Strategy – European Air Traffic Management Programme. Brüssel 2003
- /29/ ICAO: ICAO ANNEX 14 – Aerodromes. Aerodrome Design and Operations. Volume I. Montreal 2004
- /30/ ICAO: ICAO Doc 9476 – Manual on Surface Movement Guidance and Control Systems (SMGCS). Erste Ausgabe. Montreal 1986
- /31/ DeWiTec: DWT-ERG Runway Guard Light. Dortmund 2011. Zugriff am 16. Oktober 2011 via [http://www.dewitec.de/cms/front\\_content.php?idcat=49&idart=119](http://www.dewitec.de/cms/front_content.php?idcat=49&idart=119)
- /32/ EUROCONTROL: Definition of A-SMGCS Implementation Levels – European Air Traffic Management Programme. Brüssel 2005
- /33/ ADV: ADV Monatsstatistik 12/2010. Berlin 2011: Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e.V. Zugriff am 20. Oktober 2011 via: [http://www.adv.aero/fileadmin/pdf/statistiken/2010/ADV\\_Monatsstatistik\\_Dez\\_2010\\_final.pdf](http://www.adv.aero/fileadmin/pdf/statistiken/2010/ADV_Monatsstatistik_Dez_2010_final.pdf)
- /34/ Fraport AG: Befragung mittels Fragebogen vom 17. Oktober 2011 – Fr. Elina Pohl. Berlin / Frankfurt 2011
- /35/ DFS GmbH: Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) – AIP AD 2 EDDF. Langen 2011: Deutsche Flugsicherung (DFS) GmbH. Zugriff am 20. Oktober 2011 via <http://www.ead.eurocontrol.int/publicuser/public/pu/login.do>
- /36/ DFS GmbH: Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) – Aerodrome Chart AD 2 EDDF 2-5. Langen 2011: Deutsche Flugsicherung (DFS) GmbH. Zugriff am 20. Oktober 2011 via <http://www.ead.eurocontrol.int/publicuser/public/pu/login.do>
- /37/ Flughafen Hamburg GmbH: Airline Liste – Hamburg Airport. Hamburg 2011. Zugriff am 22. Oktober 2011 via <http://www.airport.de/de/airlineliste.html>
-

- 
- /38/ Flughafen Hamburg GmbH: telefonische Befragung mittels Fragebogen vom 17. Oktober 2011 – Hr. Gerd Waldmann sowie Fr. Ulrike von Barga [DWD; externe Beratung]. Berlin / Hamburg 2011
- /39/ DFS GmbH: Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) – Aerodrome Chart AD 2 EDDH 2-5. Langen 2011: Deutsche Flugsicherung (DFS) GmbH. Zugriff am 20. Oktober 2011 via <http://www.ead.eurocontrol.int/publicuser/public/pu/login.do>
- /40/ DFS GmbH: Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) – Aerodrome Chart AD 2 EDDN 2-5. Langen 2011: Deutsche Flugsicherung (DFS) GmbH. Zugriff am 20. Oktober 2011 via <http://www.ead.eurocontrol.int/publicuser/public/pu/login.do>
- /41/ DFS GmbH: Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) – Aerodrome Chart AD 2 EDLP 2-5. Langen 2011: Deutsche Flugsicherung (DFS) GmbH. Zugriff am 20. Oktober 2011 via <http://www.ead.eurocontrol.int/publicuser/public/pu/login.do>
- /42/ DFS GmbH: Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) – AIP AD 2 EDDN. Langen 2011: Deutsche Flugsicherung (DFS) GmbH. Zugriff am 22. Oktober 2011 via <http://www.ead.eurocontrol.int/publicuser/public/pu/login.do>
- /43/ Flughafen Paderborn Lippstadt GmbH: Über uns – Portrait. Paderborn 2011. Zugriff am 22. Oktober 2011 via [http://www.airport-pad.com/index.php?catalog=/flughafen/ueber\\_uns/portrait](http://www.airport-pad.com/index.php?catalog=/flughafen/ueber_uns/portrait)
- /44/ Merkel, Angela: Merkel – neue Landebahn verspricht wirtschaftlichen Höhenflug. Berlin 2011: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Berlin / Frankfurt a. Main 2011. Zugriff am 23. Oktober 2011 via <http://www.bundeskanzlerin.de/Content/DE/Artikel/2011/10/2011-10-21-merkel-eroeffnet-landebahn-frankfurt.html>
- /45/ Flughafen Nürnberg GmbH: Unternehmensinfos. Nürnberg 2011. Zugriff am 25. Oktober 2011 via <http://www.airport-nuernberg.de/61329/Unternehmensinfos>
- /46/ Flughafen Nürnberg GmbH: Befragung mittels Fragebogen vom 25. Oktober 2011 – Hr. Achim Scharf sowie Hr. Detlef Aßmann [DWD; externe Beratung]. Berlin / Nürnberg / München 2011
- /47/ Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH: telefonische Befragung mittels Fragebogen vom 4. November 2011 – Hr. A. Woisch. Berlin / Paderborn 2011
- /48/ DFS GmbH: Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) – AIP AD 2 EDLP. Langen 2011: Deutsche Flugsicherung (DFS) GmbH. Zugriff am 6. November 2011 via <http://www.ead.eurocontrol.int/publicuser/public/pu/login.do>
- /49/ AT-One: The ATM Research Alliance – CNS Facilities. Illustration. Amsterdam / Braunschweig 2011. Zugriff am 8. November 2011 via [http://www.at-one.aero/wp/?page\\_id=98](http://www.at-one.aero/wp/?page_id=98)
- /50/ DLR: Leitsysteme. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung. Braunschweig 2011. Zugriff am 8. November 2011 via [http://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1163/1583\\_read-2987/](http://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1163/1583_read-2987/)
-

## ANHANG 1: TYPEN-LEVEL-MATRIX

**Anmerkung:** Anhang 1 besteht aus zwei Teilen, da die in ICAO Doc 9830 App. B abgebildete Matrix zweigeteilt ist. Teil 2 ist auf der nachfolgenden Seite abgebildet.

Typen-Level-Matrix - Teil 1 von 2:

Aerodrome type	User	Surveillance	Control			Routing	Guidance				Level	
			Conflict prediction and/or detection	Conflict analysis	Conflict resolution		Ground				On board	
							*1	*2	*3	*4		
T-1: 1:(B)(L) T-2: 1:(B)(M) T-3: 1:(B)(H) T-4: 1:(S)(L)	Controller	X	X	X	X	X						I
	Pilot/Vehicle driver		X	X	X		X					
	System											
T-5: 1:(S)(M) T-6: 1:(S)(H) T-7: 1:(C)(L) T-10: 2:(B)(L) T-11: 2:(B)(M) T-13: 2:(S)(L)	Controller	X	X	X	X	X						II
	Pilot/Vehicle driver		X	X	X		X	X				
	System	X	X									

**Anhang 1: Typen-Level-Matrix gemäß ICAO Doc 9830 App. B<sup>171</sup>**

<sup>171</sup> ICAO Doc 9830, S. B-1 f., /5/



## Typen-Level-Matrix - Teil 2 von 2:

Aerodrome type	User	Surveillance	Control			Routing	Guidance				Level	
			Conflict prediction and/or detection	Conflict analysis	Conflict resolution		Ground				On board	
							*1	*2	*3	*4		
T-8: 1:(C)(M) T-12: 2:(B)(H) T-14: 2:(S)(M) T-16: 2:(C)(L) T-19: 3:(B)(L) T-20: 3:(B)(M) T-22: 3:(S)(L)	Controller		X	X	X				X			III
	Pilot/Vehicle driver		X	X <sup>1)</sup>	X <sup>1)</sup>		X					
	System	X	X	X	X	X						
T-9: 1:(C)(H) T-15: 2:(S)(H) T-17: 2:(C)(M) T-18: 2:(C)(H) T-21: 3:(B)(H) T-23: 3:(S)(M) T-24: 3:(S)(H) T-25: 3:(C)(L) T-26: 3:(C)(M) T-27: 3:(C)(H)	Controller		X	X	X							IV
	Pilot/Vehicle driver		X	X <sup>1)</sup>	X <sup>1)</sup>		X					
	System	X	X	X	X	X				X		
T-28: 4:(B)(L) T-29: 4:(B)(M) T-30: 4:(B)(H) T-31: 4:(S)(L) T-32: 4:(S)(M) T-33: 4:(S)(H) T-34: 4:(C)(L) T-35: 4:(C)(M) T-36: 4:(C)(H)	Controller		X	X	X							V
	Pilot/Vehicle driver						X				X	
	System	X	X	X	X	X				X		

\*1. Painted centre line and taxiway guidance signs

\*2. Fixed centre line lights

\*3. Manual switched centre line lights

\*4. Automatic switched centre line lights

Note 1.— Does not apply in visibility condition 3.

## ANHANG 2: KOMPONENTENMATRIX

Aerodrome type			Visibility	Surveillance system								Routing system		Guidance system			Control system										
				Approach		Manoeuvring area			Apron								Conflict			Movement	Incursion alerts		Protection				
	Layout	Traffic level		Visual	Instrument	Detection	Tracking	Identification	Accurate	Detection	Tracking	Identification	Accurate	Route	Route planning	Visual aids	Situation awareness	Restricted area	Detection		Alert	Resolution		Runway	Taxiway	Runway	Taxiway
1	B	L	1											ATCO	ATCO	P	C								H,C	H,C	
2	B	M	1											ATCO	ATCO	P	C								H,C	H,C	
3	B	H	1	R	R									ATCO	ATCO	P	C								H,C	H,C	
4	S	L	1											ATCO	ATCO	P	C								H,C	H,C	
5	S	M	1			SMR								ATCO	ATCO	P	C		(✓)						H,C	H,C	
6	S	H	1	R	R	✓	✓							ATCO	ATCO	P	C		(✓)			(✓)	(✓)		H,C	H,C	
7	C	L	1		R	SMR								ATCO	ATCO	P	C		(✓)						H,C	H,C	
8	C	M	1		R	✓	✓							ATCO	Sys	M	C		(✓)			(✓)	(✓)		H,C	H,C	
9	C	H	1	R	R	✓	✓							Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓		✓	✓	H,C	H,C	
10	B	L	2		R	SMR								ATCO	ATCO	P	C		(✓)		(✓)	✓	✓		H,C,G	H,C	
11	B	M	2		R	SMR								ATCO	ATCO	P	C		(✓)		(✓)	✓	✓		H,C,G	H,C	
12	B	H	2	R	R	✓	✓							ATCO	Sys	M	C		(✓)		(✓)	✓	✓		H,C,G	H,C	
13	S	L	2		R	SMR								ATCO	ATCO	P	C		(✓)		(✓)	✓	✓		H,C,G	H,C	
14	S	M	2		R	✓	✓	✓						ATCO	Sys	M	C		(✓)		(✓)	✓	✓		H,C,G	H,C	
15	S	H	2	R	R	✓	✓	✓						Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	H,C,G	H,C	
16	C	L	2		R	✓	✓	✓						ATCO	Sys	M	C		(✓)		(✓)	✓	✓		H,C,G	H,C	
17	C	M	2		R	✓	✓	✓						Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	H,C,G,S	H,C,T	
18	C	H	2	R	R	✓	✓	✓						Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	✓	✓	✓	H,C,G,S	H,C,T	
19	B	L	3		R	✓	✓	✓		✓				ATCO	Sys	M	C		(✓)	✓	✓	✓	✓	✓		H,C,G,S	H,C,T
20	B	M	3		R	✓	✓	✓		✓				ATCO	Sys	M	C		(✓)	✓	✓	✓	✓	✓		H,C,G,S	H,C,T
21	B	H	3		R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	✓	✓	✓		H,C,G,S	H,C,T
22	S	L	3		R	✓	✓	✓		✓	✓			ATCO	Sys	M	C		(✓)	✓	✓	✓	✓	✓		H,C,G,S	H,C,T
23	S	M	3		R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	✓	✓	✓		H,C,G,S	H,C,T
24	S	H	3		R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	✓	✓	✓		H,C,G,S	H,C,T
25	C	L	3		R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	✓	✓	✓		H,C,G,S	H,C,T
26	C	M	3		R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	H,C,G,S	H,C,T
27	C	H	3		R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sys	Sys	A	C		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	H,C,G,S	H,C,T
28-36	All	All	4		R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sys	Sys	A,E	C,E	E	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	H,C,G,S,E	H,C,TE

Aerodrome types:

Layout B = Basic  
 Layout S = Simple  
 Layout C = Complex  
 Traffic L = Light  
 Traffic M = Medium  
 Traffic H = Heavy

System Modules:

R Approach radar  
 SMR Surface movement radar <sup>1)</sup>  
 P Painted centre line with/without lights <sup>1)</sup>  
 M Manually switched (block of) centre line lights <sup>1)</sup>  
 A Automatic switched centre line lights  
 C Aerodrome chart and signs <sup>1)</sup>  
 H Holding position marking <sup>1)</sup>  
 G Runway guard lights <sup>1)</sup>

S Switched stop bar <sup>1)</sup>  
 T Traffic lights

ATCO Air traffic controller

Sys System

✓ New development required

(✓) New development desirable

E Enhanced cockpit display

Note 1. — For details see Table 2-2 of Doc 9476.

### Anhang 2: Komponentenmatrix gemäß ICAO Doc 9830 App. C<sup>172</sup>

<sup>172</sup> ICAO Doc 9830, S. C-2, /5/

## ANHANG 3: FRAGEBOGEN EDDF

Alle Fragen beziehen sich auf die Durchführung der Rollverkehrsführung.

Frage 1:	Sichtweite	Anzahl Tage pro Kalenderjahr
Sichtweite auf dem Rollfeld		Antwort:
An wie vielen Tagen pro Jahr beträgt die Sichtweite:	1000 – ∞ [m]	
	400 – 1000 [m]	57
	75 – 400 [m]	24
	0 – 75 [m]	5

Bemerkungen zu Frage 1:

Sichtweite = RVR (Runway Visual Range)

Frage 2:	Verkehrsaufkommen auf den Runways	Bitte zutreffende Zeile ankreuzen!
Verkehrsaufkommen auf Runways		Antwort:
Durchschnittliches stündliches Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrszeit?	< 15 Rollbewegungen / Std	
	16 – 25 Rollbewegungen / Std	
	> 26 Rollbewegungen / Std	X

Bemerkungen zu Frage 2:

siehe ADV - Statistik

Frage 3:	Verkehrsaufkommen auf dem gesamten Rollfeld	Bitte zutreffende Zeile ankreuzen!
Verkehrsaufkommen auf dem gesamten Rollfeld (Runways + Taxiways + Vorfeld)	(Runways + Taxiways + Vorfeld)	Antwort:
Durchschnittliches stündliches Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrszeit?	< 20 Rollbewegungen / Std	
	20 – 35 Rollbewegungen / Std	
	> 35 Rollbewegungen / Std	X

Bemerkungen zu Frage 3:

siehe ADV - Statistik

Besten Dank, dass Sie sich die Zeit zur Beantwortung genommen haben!  
Mit freundlichen Grüßen

Martin von Castell  
stud. BSc Verkehrswesen / Luft- und Raumfahrttechnik  
TU Berlin

Fragebogen: Durchführung der Rollverkehrsführung

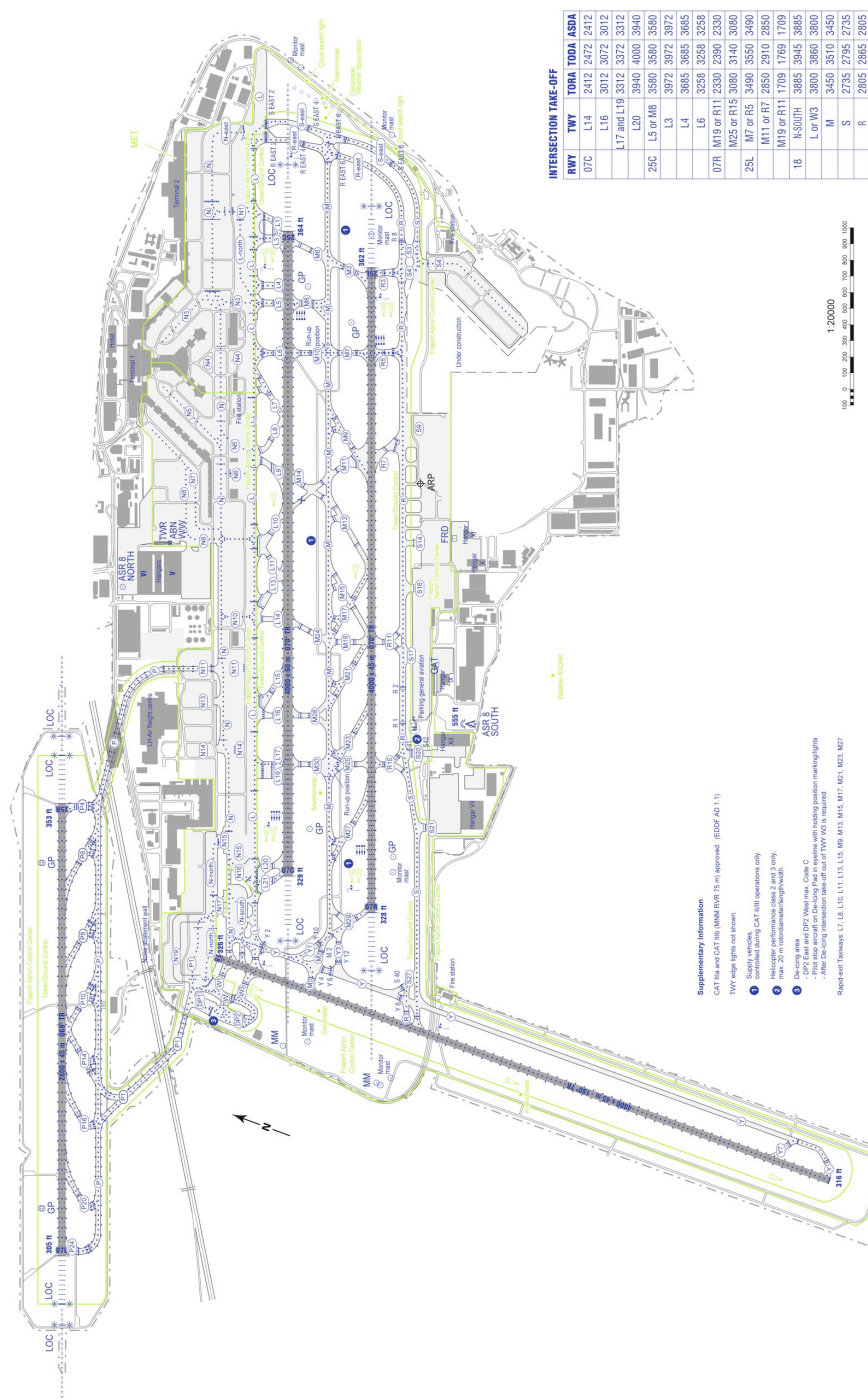
Seite 2 von 2

### Anhang 3: Typisierungsfragebogen EDDF<sup>173</sup>

<sup>173</sup> Fraport AG, /34/

## ANHANG 4: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDDF

**Anmerkung:** Der angegebene Maßstab ist nicht korrekt, da die Grafik zwecks Darstellungsoptimierung verkleinert abgebildet ist.



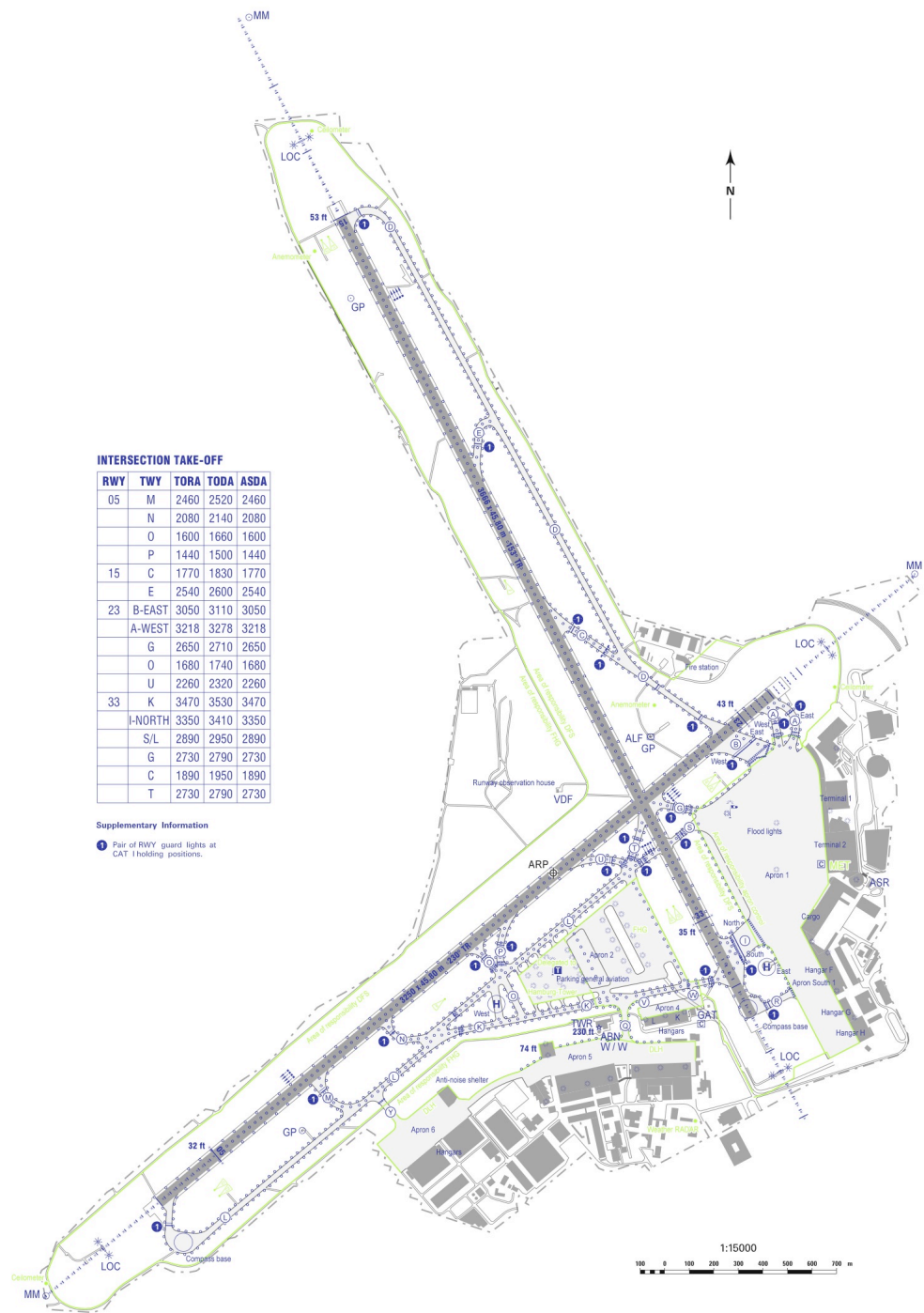
Anhang 4: Aerodrome Chart des Flughafens EDDF<sup>174</sup>

<sup>174</sup> DFS GmbH, /36/



ANHANG 5: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDDH

**Anmerkung:** Der angegebene Maßstab ist nicht korrekt, da die Grafik zwecks Darstellungsoptimierung verkleinert abgebildet ist.



Anhang 5: Aerodrome Chart des Flughafens EDDH<sup>175</sup>

<sup>175</sup> DFS GmbH, 42

## ANHANG 6: FRAGEBOGEN EDDN

Alle Fragen beziehen sich auf die Durchführung der Rollverkehrsführung.

<b>Frage 1:</b>	Sichtweite	Anzahl Tage pro Kalenderjahr
<b>Sichtweite auf dem Rollfeld</b>		Antwort:
An wie vielen Tagen pro Jahr beträgt die Sichtweite:	1000 – ∞ [m]	<b>348</b>
	400 – 1000 [m]	<b>~4</b>
	75 – 400 [m]	<b>~13</b>
	0 – 75 [m]	<b>0</b>

Bemerkungen zu Frage 1:

**Werte für das Kalenderjahr 2010**

<b>Frage 2:</b>	Verkehrsaufkommen auf den Runways	Bitte zutreffende Zeile ankreuzen!
<b>Verkehrsaufkommen auf Runways</b>		Antwort:
Durchschnittliches stündliches Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrszeit?	< 15 Rollbewegungen / Std	
	16 – 25 Rollbewegungen / Std	
	> 26 Rollbewegungen / Std	<b>X</b>

Bemerkungen zu Frage 2:

**Spitzenwert aus 2010: 42 Bewegungen**

<b>Frage 3:</b>	Verkehrsaufkommen auf dem gesamten Rollfeld	Bitte zutreffende Zeile ankreuzen!
<b>Verkehrsaufkommen auf dem gesamten Rollfeld (Runways + Taxiways + Vorfeld)</b>	(Runways + Taxiways + Vorfeld)	Antwort:
Durchschnittliches stündliches Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrszeit?	< 20 Rollbewegungen / Std	
	20 – 35 Rollbewegungen / Std	
	> 35 Rollbewegungen / Std	<b>X</b>

Bemerkungen zu Frage 3:

**inkl. Flugzeugschlepps auf dem Vorfeld**

Besten Dank, dass Sie sich die Zeit zur Beantwortung genommen haben!  
Mit freundlichen Grüßen

Martin von Castell  
stud. BSc Verkehrswesen / Luft- und Raumfahrttechnik  
TU Berlin

Fragebogen: Durchführung der Rollverkehrsführung

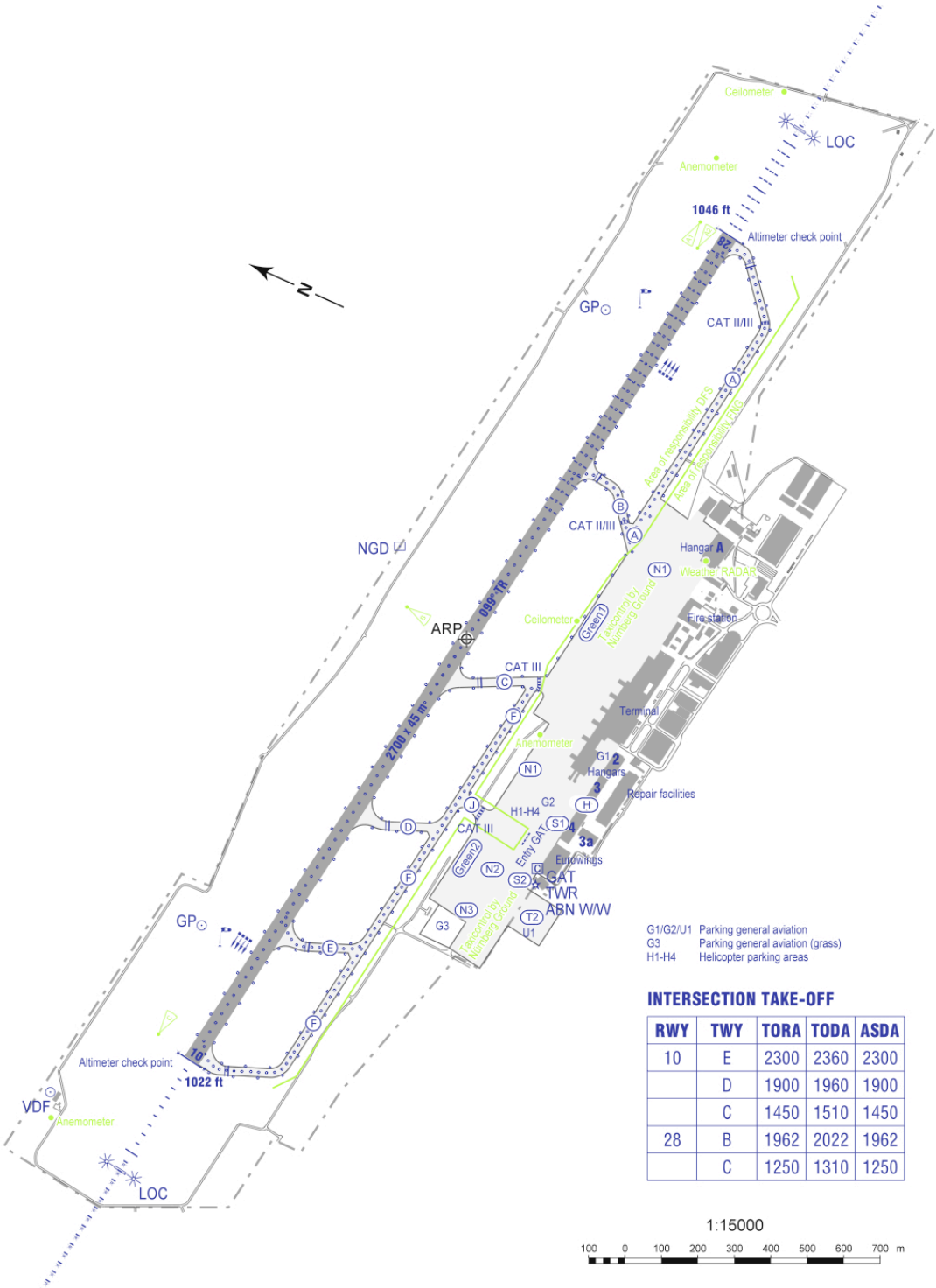
Seite 2 von 2

### Anhang 6: Typisierungsfragebogen EDDN<sup>176</sup>

<sup>176</sup> Flughafen Nürnberg GmbH, /46/

ANHANG 7: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDDN

**Anmerkung:** Der angegebene Maßstab ist nicht korrekt, da die Grafik zwecks Darstellungsoptimierung verkleinert abgebildet ist.



Anhang 7: Aerodrome Chart des Flughafens EDDN<sup>177</sup>

<sup>177</sup> DFS GmbH, /40/

## ANHANG 8: FRAGEBOGEN EDLP

Alle Fragen beziehen sich auf die Durchführung der Rollverkehrsführung.

<b>Frage 1:</b> <b>Sichtweite auf dem Rollfeld</b>	Sichtweite	Anzahl Tage pro Kalenderjahr
		Antwort:
An wie vielen Tagen pro Jahr beträgt die Sichtweite:	1000 – ∞ [m]	312
	400 – 1000 [m]	35
	75 – 400 [m]	} 18
	0 – 75 [m]	

Bemerkungen zu Frage 1:

Wetterdaten aus 2010 - genaue Differenzierung zw. 0-400 m nicht möglich!

<b>Frage 2:</b> <b>Verkehrsaufkommen auf Runways</b>	Verkehrsaufkommen auf den Runways	Bitte zutreffende Zeile ankreuzen!
		Antwort:
Durchschnittliches stündliches Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrszeit?	< 15 Rollbewegungen / Std	<input checked="" type="checkbox"/>
	16 – 25 Rollbewegungen / Std	<input type="checkbox"/>
	> 26 Rollbewegungen / Std	<input type="checkbox"/>

Bemerkungen zu Frage 2:

<b>Frage 3:</b> <b>Verkehrsaufkommen auf dem gesamten Rollfeld (Runways + Taxiways + Vorfeld)</b>	Verkehrsaufkommen auf dem gesamten Rollfeld (Runways + Taxiways + Vorfeld)	Bitte zutreffende Zeile ankreuzen!
		Antwort:
Durchschnittliches stündliches Verkehrsaufkommen zur Hauptverkehrszeit?	< 20 Rollbewegungen / Std	<input checked="" type="checkbox"/>
	20 – 35 Rollbewegungen / Std	<input type="checkbox"/>
	> 35 Rollbewegungen / Std	<input type="checkbox"/>

Bemerkungen zu Frage 3:

Besten Dank, dass Sie sich die Zeit zur Beantwortung genommen haben!  
Mit freundlichen Grüßen

Martin von Castell  
stud. BSc Verkehrswesen / Luft- und Raumfahrttechnik  
TU Berlin

Fragebogen: Durchführung der Rollverkehrsführung

Seite 2 von 2

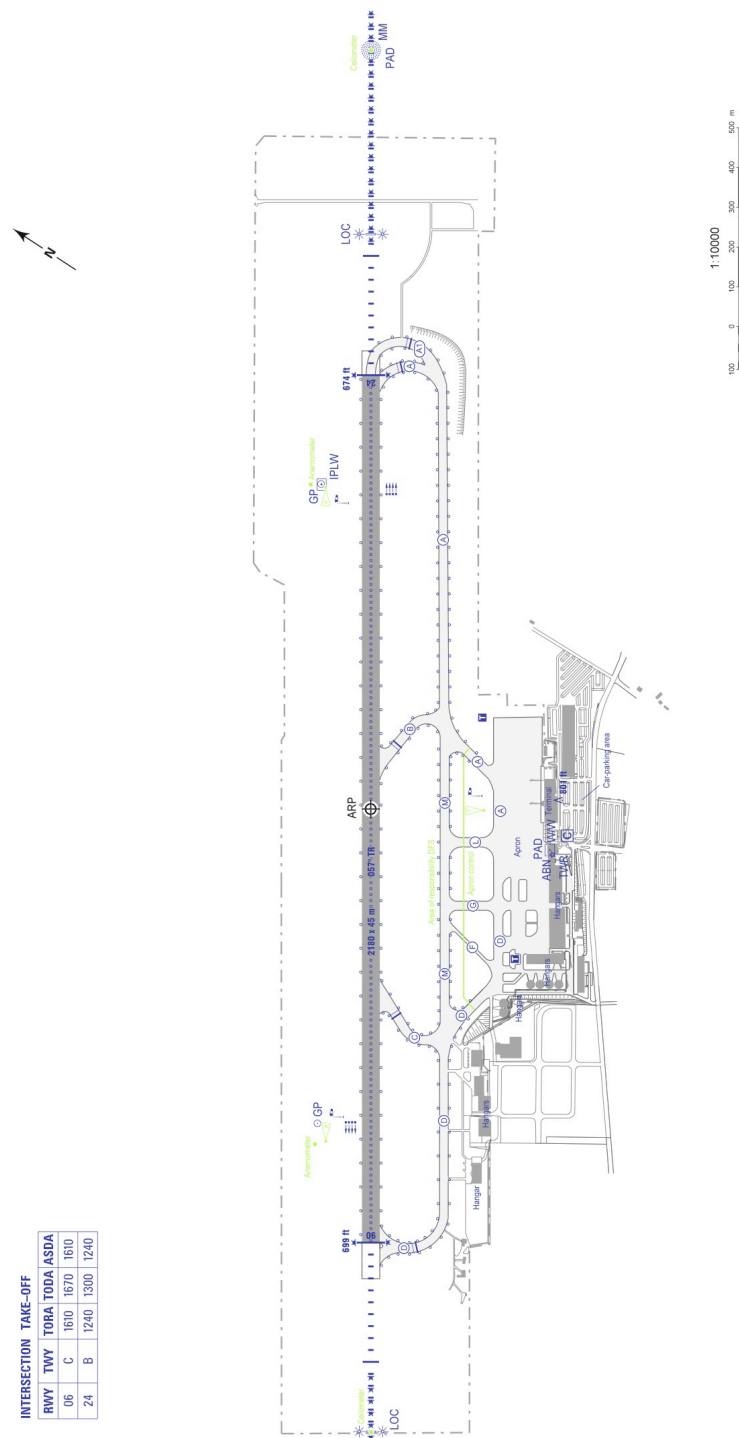
### Anhang 8: Typisierungsfragebogen EDLP<sup>178</sup>

<sup>178</sup> Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH, /47/



ANHANG 9: AERODROME CHART DES FLUGHAFENS EDLP

**Anmerkung:** Der angegebene Maßstab ist nicht korrekt, da die Grafik zwecks Darstellungsoptimierung verkleinert abgebildet ist.



Anhang 9: Aerodrome Chart des Flughafens EDLP<sup>179</sup>

<sup>179</sup> DFS GmbH, /41/

## ANHANG 10: SICHTDATEN DES FLUGHAFENS EDDH

**Anmerkung:** Nachfolgend ist der Email-Verkehr vom 26./27. Oktober 2011 mit Frau Ulrike von Bargaen, Mitarbeiterin des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und zuständig für die Erfassung meteorologischer Daten am Flughafen Hamburg, abgedruckt. Persönliche Daten wurden aus Gründen des Datenschutzes unkenntlich gemacht. Der Verlauf des Gesprächs bezieht sich auf Frage 1 des Fragebogens, wie sie beispielsweise in Anhang 3 ersichtlich ist.

Von: Bargaen-von Ulrike [REDACTED]  
 Betreff: AW: Anfrage: Rollverkehrsführung am Flughafen EDDH  
 Datum: 26. Oktober 2011 15:24:03 MESZ  
 An: 'Martin von Castell' [REDACTED]

Hallo Herr von Castell,

die Frage 1 lässt sich leider nicht in 10 Minuten beantworten. Daher kann ich Ihnen z.Zt. auch nur unsere Jahresauswertungen geben, die minütlich ausgewertet wurden.

Oktober 2009 bis September 2010	Oktober 2008 bis September 2009	Oktober 2007 bis September 2008
BS 3b 75 - < 200 m keine	46 Minuten	4 Minuten
BS 3a 200 - < 300 m keine	3 Std. 5 Minuten	3 Std. 24 Minuten
BS 2 300 - < 550 m 2 Std. und 4 Minuten	5 Std. 3 Minuten	11 Std. 12 Minuten
BS 3b 75 - < 200 m 26 Minuten	42 Minuten	3 Std. 49 Minuten
BS 3a 200 - < 300 m 2 Std. und 49 Minuten	5 Std. 19 Minuten	9 Std. 35 Minuten
BS 2 300 - < 550 m 13 Std. und 1 Minute	33 Std. 45 Minuten	44 Std. 10 Minuten

Sie sehen, dass es da durchaus sehr unterschiedliche Zeitfenster gibt, woraus Sie sich dennoch ein Mittel bilden können.  
 Viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen  
 Ulrike von Bargaen  
 Deutscher Wetterdienst  
 Regionale Messnetzgruppe Hamburg  
 Flughafen Terminal 2  
 22335 Hamburg

Von: Martin von Castell' [REDACTED]  
 Betreff: Re: Anfrage: Rollverkehrsführung am Flughafen EDDH  
 Datum: 27. Oktober 2011 13:03:23 MESZ  
 An: Bargaen-von Ulrike [REDACTED]

Sehr geehrte Frau von Bargaen,

besten Dank für Ihre Bemühungen und das Übersenden der Daten. Ich hätte noch zwei Fragen: Da die Werte für BS 3b, 3a und 2 jeweils doppelt auftauchen gehe ich davon aus, diese entsprechen jeweils einer Piste. Falls dem so ist: welche Werte sind welcher Piste zugeordnet? Wird zwischen den Betriebsrichtungen unterschieden?

Viele Grüße nach Hamburg

Martin von Castell  
 stud. BSc Verkehrswesen / Luft- und Raumfahrttechnik  
 TU Berlin

Von: Bargaen-von Ulrike [REDACTED]  
 Betreff: AW: Anfrage: Rollverkehrsführung am Flughafen EDDH  
 Datum: 27. Oktober 2011 14:31:18 MESZ  
 An: 'Martin von Castell' [REDACTED]

Hallo Herr von Castell,

sorry, hatte ich vergessen dazu zu schreiben, es handelt es sich um Zeiträume: im ersten Teil von 06.00 - 20.59 UTC und im zweiten Teil von 21.00 - 05.59 UTC.  
 Einer Piste zugeordnet sind die Werte nicht, es wird auch nicht zwischen den Betriebsrichtungen unterschieden.  
 Nebelbildung hängt ja sehr stark auch von der Umgebung ab, in Hamburg haben wir eine moorige Beschaffenheit des Bodens im Bereich der Landbahn 15. Dort beginnt meistens die erste Phase der Bodennebelbildung, so dass dort sicher die meiste Zeit zusammen gekommen ist.

Ich hoffe, ich konnte Ihnen etwas weiter helfen.

Freundliche Grüße  
 Ulrike von Bargaen

### Anhang 10: Sichtdaten des Flughafens EDDH<sup>180</sup>

<sup>180</sup> s. Flughafen Hamburg GmbH, /38/

## EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Die selbstständige und eigenhändige Anfertigung versichere ich an Eides statt.

Berlin, 13. Januar 2012

---

Johannes Martin Frhr. von Castell

